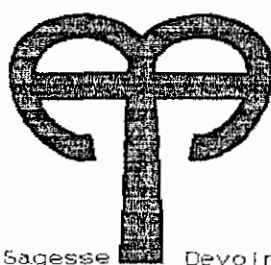


REPUBLIQUE DU SENEGAL
UNIVERSITE CHEIKH ANTA DIOP
ECOLE POLYTECHNIQUE DE THIES
DEPARTEMENT DU GENIE ELECTROMECHANIQUE



Sagesse Devoir

Gm. 0145

PROJET DE FIN D'ETUDES
en vue de l'obtention du diplôme d'ingénieur de conception

TITRE : MODELISATION D'UNE INTERFACE
METAL - OXYDE - ELECTROLYTE

AUTEUR : Jean-paul AHOYO
DIRECTEUR : Sana FATY
DATE : Juillet 1993

Mon DIEU, je me réjouis et te remercie pour ce que tu fais
pour moi . Qu'il serve à ta gloire et non à flatter mon orgueil.
Je te loue Seigneur parce que tu as exaucé mes prières .
Amen ! Alléluia !

A mon père défunt,

A ma mère bien aimée,

A mes frères et soeurs,

A tous mes amis .

REMERCIEMENTS

Par la présente je tiens à remercier très sincèrement tous ceux qui de près ou de loin ont contribué à ma formation d'ingénieur et à la bonne réalisation de cette étude .

Ma gratitude va en particulier à monsieur SANA FATY, mon directeur de projet qui, malgré ses multiples occupations, a porté un grand intérêt à la réalisation de cette étude .

SOMMAIRE

La présente étude met en évidence une configuration électrique équivalente à une interface électrochimique . Le système étudié est constitué d'une électrode en acier inoxydable L304 au contact d'un électrolyte basique . La détermination de cette configuration repose sur une exploitation des données de mesure d'impédance électrochimique à l'interface électrode_électrolyte.

Après avoir fait un exposé succinct sur le processus de corrosion et de passivation nous avons présenté une description sommaire de l'interface électrochimique pour un métal et un semi-conducteur et son adaptation à un circuit électrique . L'analyse des résultats est faite en deux étapes : la première est une inspection visuelle des diagrammes d'impédance _ bien que sommaire elle aboutit à la conclusion que le système comporte des éléments capacitifs et résistifs . La seconde étape est un lissage des courbes à l'aide du logiciel de mathématique MATHCAD ; elle aboutit à la conclusion que le circuit 3 (figure 13b) modélise mieux l'interface étudiée . En dernière partie se trouve la conclusion .

TABLE DES MATIERES

- Remerciements.....	i
- Sommaire.....	ii
- Liste des figures.....	v
- Liste des annexes.....	vi
- INTRODUCTION.....	1
- CHAPITRE I : Etude des aspects fondamentaux de la corrosion et de la passivation.....	4
A) Définition de la corrosion.....	4
B) Le phénomène de passivation.....	7
c) L'interface électrochimique et son équivalent électrique.....	13
D) L'interface semi-conducteur électrolyte : distribution des charges en l'absence d'états de surface	18
- CHAPITRE II : Concepts d'impédance électrochimique....	23
A) Considérations générales.....	23
B) Cas des systèmes électrochimiques.....	24
C) Représentation de l'impédance.....	28
- CHAPITRE III : Procédures d'analyse des données d'impédance et résolution en terme de circuit équivalent.....	29
A) Bases élémentaires de la sélection d'une configuration donnée.....	29

TABLE DES MATIERES

B) Analyse des circuits.....	35
a) Analyse visuelle.....	45
b) Méthode du lissage des courbes.....	46
- CONCLUSION.....	66
- ANNEXES	
- REFERENCES	

LISTE DES FIGURES

Figure	Page
1 : Courbe intensité - potentiel d'un matériau passivable.....	12
2 : Interface électrochimique métal solution.....	14
3a : Structure de la double couche.....	17
3b : Profil du potentiel à l'interface métal solution..	17
4 : Distribution de la charge.....	20
5 : Diagramme énergétique de l'interface semi-conducteur électrolyte à l'équilibre et en situation de bandes plates.....	21
6 : Circuit électrique généralisé.....	23
7 : Schéma équivalent d'une interface électrochimique.....	27
8 : Quelques circuits simples.....	31
9 : Deux circuits conduisant à un même diagramme de Bode.....	32
10 : Diagramme de Bode des circuits des figures(8,9)...	34
11 : Schéma électrique équivalent de l'interface semi-conducteur électrolyte.....	37
12 : Courbes de Mott Schottky.....	40.41
13a : Circuit 2.....	42
13b : Circuit 3.....	43
13c : Circuit 4.....	44

LISTE DES ANNEXES

Annexe

A : Données expérimentales utilisées

INTRODUCTION

Le travail que nous présentons dans ce projet se situe dans le cadre des études de corrosion et concerne l'étude d'un phénomène d'une importance cruciale à la fois d'un point de vue théorique que pratique . De nombreux matériaux métalliques ont en effet la propriété de se recouvrir soit spontanément, soit par une action extérieure de couches d'oxydes qui les protègent des agressions chimiques ultérieures . Ces couches sont dites passives et le phénomène est connu sous le nom de passivation .

Parmi les matériaux de ce type on peut citer le fer et les aciers inoxydables . Ces derniers en particulier sont d'un emploi courant dans diverses industries chimiques et nucléaires où ils constituent la solution à d'innombrables problèmes du fait de leur excellente tenue à la corrosion vue la couche d'oxydes qui les recouvre .

En vue d'en tirer le meilleur profit de très nombreuses études ont été consacrées à l'étude de la passivation ces dernières années . Ainsi les aspects structuraux(1,2), analytiques, cinétiques(3), thermodynamiques(4), dimensionnels(5) ainsi que les propriétés chimiques et physiques(6,8) ont tour à tour été examinés . Les techniques modernes d'étude des surfaces ont apporté une importante contribution à l'élucidation de ce phénomène complexe .

Ces dernières décennies de nombreuses études ont permis d'avoir des informations sur la liaison chimique ou l'état d'oxydation des éléments du film .

Pourtant à l'heure actuelle, les mécanismes responsables de la stabilité du film passif sont encore mal établis. Cette situation a d'un point de vue pratique les plus graves conséquences: les théories capables d'expliquer les diverses formes de corrosion localisée c'est à dire la destruction du film passif à des sites d'attaque préférentielle, sont encore controversées. Elles sont aussi fortement limitées sur le plan prévisionnel. Il en résulte une très mauvaise exploitation des énormes possibilités de résistance à la corrosion offertes par l'état passif et une utilisation encore très empirique des matériaux passivables.

C'est pourquoi ces quelques dernières années des études visant à caractériser l'oxyde du point de vue de sa structure électronique ont été entreprises . On sait en effet que les caractéristiques courant-tension enregistrées sur les matériaux passivables dans divers milieux électrolytiques s'apparentent à celles des semi-conducteurs. Elles montrent en effet un comportement redresseur caractéristique de ces matériaux, ce qui traduit la nature semi-conductrice des couches.

Quoi qu'il en soit la compréhension de la passivité et son rôle dans la recherche en corrosion s'avèrent de plus en plus étroitement liés aux propriétés électroniques des films . L'étude de ces propriétés est en grande partie due au développement rapide de l'électrochimie des semi-conducteurs ces

dernières décennies, qui a fourni les concepts nécessaires à la description des interfaces semi-conducteur électrolyte. Par extension aux couches passives il a été établi qu'un modèle de bandes d'énergie, basé sur des mesures de capacité différentielle peut être à même de décrire le comportement électrochimique en terme de transfert électronique et de processus ionique.

Notre travail s'inscrit dans ce contexte et vise à établir le modèle électrique d'interface pour un acier inoxydable en contact avec une solution tampon acide borique trétraborate. Il s'appuie sur des données de mesure d'impédances recueillies dans un laboratoire du **CNRS en FRANCE**.

Avant de présenter le travail proprement dit un exposé sur la passivation ainsi que sur la modélisation est nécessaire. Ce sera l'objet de la première partie qui comporte aussi une présentation sommaire de l'interface électrochimique et son adaptation à un circuit électrique. La deuxième partie définira les concepts d'impédance électrochimique et de capacité différentielle qui en découle. La troisième partie présentera les procédures utilisées pour identifier le circuit adéquat. La quatrième partie comportera la conclusion de notre travail.

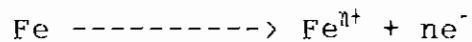
CHAPITRE I
ETUDE DES ASPECTS FONDAMENTAUX
DE LA CORROSION ET DE LA
PASSIVATION

ETUDE DES ASPECTS FONDAMENTAUX DE LA CORROSION ET DE LA PASSIVATION

A) Définition de la corrosion

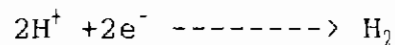
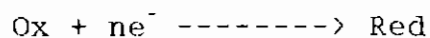
La corrosion est définie comme la destruction des métaux par les agents chimiques qui les environnent. Le mécanisme est chimique ou électrochimique, dans les milieux aqueux _ cas des milieux utilisés dans cette étude _ il est caractérisé par deux réactions électrochimiques distinctes et inverses:

1) L'oxydation (destructrice) du métal qui libère des électrons



le processus est dit anodique pour rappeler qu'à l'anode d'une pile se produit toujours une réaction d'oxydation .

2) La réduction d'au moins un constituant du milieu



Ce processus est dit cathodique .

Ces réactions qui ont lieu à l'interface métal-solution se produisent préférentiellement aux défauts superficiels du métal, tels que les déformations , impuretés, ... car ces zones donnent lieu à l'apparition de sites d'énergie élevée .Ceux-ci deviennent alors des centres actifs et se comportent comme des

ETUDE DES ASPECTS FONDAMENTAUX DE LA CORROSION ET DE LA PASSIVATION

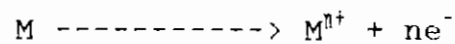
micro_anodes ; de même les sites d'énergie plus faible correspondent à des centres cathodiques. La corrosion est donc par définition, un phénomène d'électrode caractérisé par les vitesses de ces deux réactions intervenant simultanément à l'interface métal électrolyte . Il s'agit donc d'un échange électronique entre l'électrolyte et le métal à la surface de celui-ci .

Lorsqu'il s'agit d'un alliage il peut y avoir autant de réactions anodiques que de composants métalliques , il en est de même pour les espèces oxydantes et les réactions cathodiques lorsque leur potentiel redox ne sont pas très différents. Le couplage de ces différentes réactions fait du métal une électrode mixte. Lorsqu'il est abandonné à lui dans le milieu électrolytique il prend un potentiel qui dépend des vitesses finies des diverses réactions qui se produisent dans le milieu. A l'équilibre la vitesse d'oxydation est égale à la vitesse de réduction en valeur absolue. Le potentiel correspondant à cet équilibre est appelé potentiel de corrosion (E_{corr}) et parfois d'abandon ou de repos ; globalement aucun courant ne traverse l'interface car $|i_a| = |i_c|$. La vitesse d'oxydation du métal est toutefois appelée vitesse de corrosion.

Cependant si on fait varier le potentiel "E" du métal

ETUDE DES ASPECTS FONDAMENTAUX DE LA CORROSION ET DE LA PASSIVATION

un courant global $i \neq 0$ apparait . La mesure de la densité de courant est une mesure de la vitesse globale des réactions qui se déroulent à l'interface. Le courant "i" représente la vitesse de la réaction



lorsque le potentiel "E" prend des valeurs supérieures à "E_{corr}". Ainsi si N moles de M sont transformées par unité de temps, la vitesse de la réaction s'écrit:

$$v = -\frac{dN}{dt}$$

$$i = n \cdot F \cdot \left(-\frac{dN}{dt}\right)$$

puisque'il apparait n moles d'électrons. Donc

$$i = n \cdot F \cdot v$$

Le courant i mesuré est donc proportionnel à la vitesse de corrosion.

La représentation de la courbe $i = f(E)$ est illustrée dans les figures Ia et Ib.

Il est important de noter que les phases en contact apportent toutes les deux les réactifs nécessaires à la

transformation chimique : le métal provient de la phase métallique et l'espèce oxydante du milieu aqueux.

B) Le phénomène de la passivation

Nous devons la découverte de la passivation au professeur SCHÖNBEIN de Bale en SUISSE qui observa pour la première fois vers 1880 que des fils de fer chauffés au rouge ne se corrodait plus lorsqu'on les plongeait dans une solution contenant 1.35g/cm^3 d'acide nitrique _ Schönbein désigna cette non réactivité par le mot passif c'est-à-dire un état dans lequel la tendance naturelle à l'oxydation est prévenue par soustraction du métal à la solution . FARADAY en 1836 (Phil Mag 9,53,1836) publia les travaux de Schönbein et ajouta deux explications possible : La théorie d'un oxyde tridimensionnel et celle d'une couche d'adsorption d'oxygène sur le métal.

De nos jours des progrès significatifs ont été réalisés grâce aux techniques modernes de caractérisation des surfaces. On admet à l'heure actuelle la théorie de l'oxyde même si cet oxyde peut comporter en surface des couches d' adsorption suivant le milieu et le potentiel d'électrode . La formation de cet oxyde repose sur les considérations suivantes :

ETUDE DES ASPECTS FONDAMENTAUX DE LA CORROSION ET DE LA PASSIVATION

Les réactions de corrosion produisent des espèces chimiques qui peuvent se dissoudre ou précipiter dans l'électrolyte ou encore former un mince film d'oxyde à la surface du métal . De tels oxydes minces peuvent être invisibles mais suffisamment compacts , adhérents et résistants pour isoler le métal de son environnement agissant ainsi comme de bons revêtements . Dès lors les réactifs ne peuvent plus être en contact et les réactions de corrosion sont de ce fait ralenties voire freinées . La barrière d'oxyde qui isole ainsi le métal est un préventif de la réaction d'oxydation naturelle du métal . L'activité chimique du métal est en effet inhibée et le métal est dit passif .

La passivation est donc un processus qui rend un métal plutôt inerte à l'attaque de son environnement .

Toute couche protectrice formée à la surface d'un métal peut entraîner la passivation, que ce soit un film d'oxyde , une couche d'adsorption d'une espèce chimique telle que l'oxygène ou encore d'un précipité complexe . La protection est effective lorsque la couche formée est stable dans le milieu c'est à dire qu'elle ne s'y détruit pas .

La passivation du métal peut être simplement locale ou bien répartie plus ou moins uniformément ; elle est liée au milieu , à l'état de surface du métal et aux propriétés

ETUDE DES ASPECTS FONDAMENTAUX DE LA CORROSION ET DE LA PASSIVATION

physico-chimiques des couches recouvrant éventuellement le métal : nature , structure chimique , type de liaison , degré de recouvrement , porosité etc...

La passivation peut être menée de trois manières différentes conduisant chacune à un type de passivité :

* la passivité mécanique est caractérisée par la formation sur l'électrode d'un film protecteur qui est ordinairement insoluble et relativement épais et visible . Elle est utilisée entre autre pour la fabrication de redresseurs électrolytiques de faibles puissances à partir d'aluminium .

* La passivité chimique peut se produire sur quelques métaux (par exemple: le fer ,le chrome,le nickel) par traitement à l'aide d'oxydants forts (acide nitrique fumant etc...) sans modification visible des caractéristiques superficielles du métal traité .

* La passivité électrochimique est obtenue par un traitement anodique . En effet dans certains milieux les métaux et alliages sont susceptibles de se passiver lorsqu'ils sont portés à un potentiel convenable . (cf figures Ia et Ib) supérieur au potentiel d'abandon du métal . Pour un potentiel anodique appliqué (potentiel de Flade) l'intensité du courant subit une chute brutale et reste ensuite constante dans un certain domaine

ETUDE DES ASPECTS FONDAMENTAUX DE LA CORROSION ET DE LA PASSIVATION

de potentiel . Le palier d'intensité est appelé palier de passivation et l'intensité I_p qui lui correspond est faible . Le potentiel de Flade est donc le potentiel à partir duquel l'oxyde est formé .

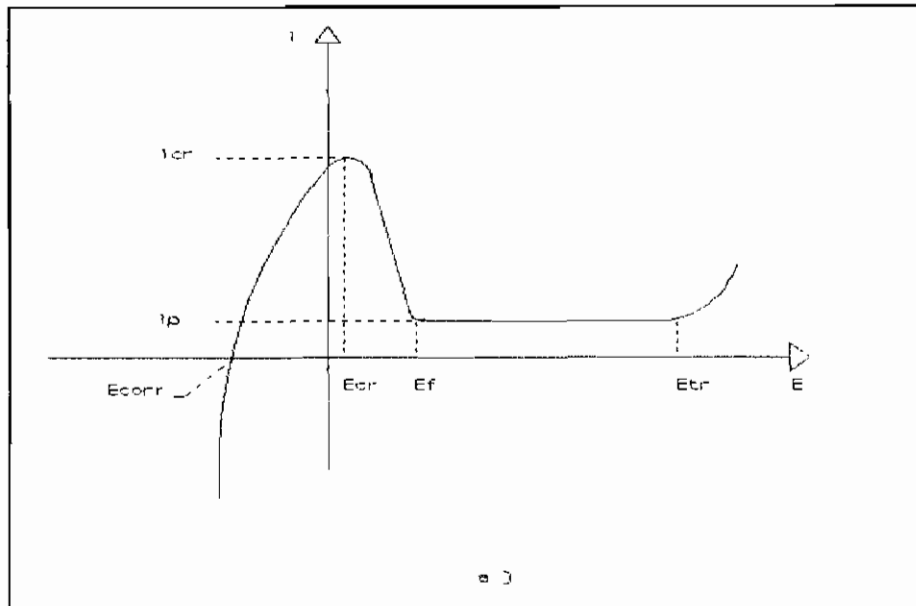
La polarisation anodique correspond à une forte oxydation de sorte que les passivités chimiques et électrochimiques sont équivalentes . Elles diffèrent seulement par leur origine .

Sur la figure Ia, les échelles de courant et de potentiel sont toutes linéaires pour les deux variables i et E . Dans la seconde déduite de la première on utilise une échelle logarithmique pour le courant . Ces courbes caractérisent un matériau passivable . Il apparaît sur la figure Ia deux zones remarquables : la première située entre E_{CORR} et E_{CR} correspondant à une augmentation de la densité de courant traduit l'oxydation du métal . Elle est dite zone active . Le potentiel correspondant au sommet de ce pic est le potentiel de passivation primaire E_{CRi} . A partir de ce potentiel la passivation se produit et le courant décroît et atteint une valeur très faible appelée courant de passivation (i_p) . Cette zone de potentiel comprise entre E_{CR} et E_{tr} est appelée zone de passivation .

ETUDE DES ASPECTS FONDAMENTAUX DE LA CORROSION ET DE LA PASSIVATION

L'examen de ces courbes intensité-potentiel permet d'obtenir un grand nombre de renseignements sur le comportement d'un métal plongé dans un milieu aqueux donné , en particulier son aptitude à la corrosion et à certaines formes de corrosion localisée .

La forme des courbes $i = f(E)$ est très sensible à un certain nombre de facteurs, en particulier ceux liés au métal testé (présence d'impuretés , état structural) et ceux appartenant au milieu , traces d'impuretés , concentration etc...



ETUDE DES ASPECTS FONDAMENTAUX DE LA CORROSION ET DE LA PASSIVATION

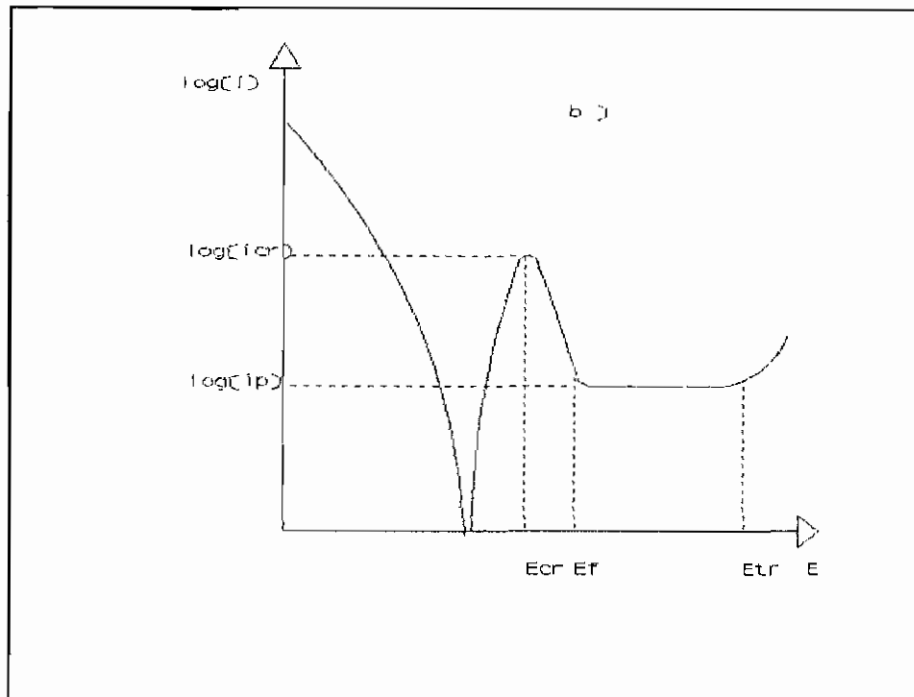


Figure I : Courbe intensité - potentiel d'un matériau passivable

a) échelle linéaire pour i et E

b) échelle logarithmique pour i

E_{corr} : potentiel de corrosion pour lequel l'intensité globale est nulle

i_{corr} : densité de courant de corrosion

i_p : densité de courant critique de passivation. Il exprime la plus ou moins grande difficulté d'un alliage à se passiver

i_p : densité de courant de passivation

E_f : potentiel de Flade , départ du palier de passivation

C) L'INTERFACE ELECTROCHIMIQUE ET SON EQUIVALENT ELECTRIQUE

** Cas d'une électrode métallique .

En électrochimie on s'intéresse aux processus réactionnels qui mettent en jeu un transport et un échange d'électrons entre deux phases chargées électriquement . L'une des phases est solide ; en son sein le transport des charges électriques est assuré par des électrons : elle est dite pour cela électrode . Celle-ci est souvent un métal ou un semi-conducteur . L'autre phase est constituée par une solution électrolytique c'est à dire une solution dans laquelle le transport des charges est assuré par des ions . Les deux phases sont séparées par une interface et entre elles existe une différence de potentiel mesurable , appelée tension interfaciale ou potentiel d'électrode .

D'un point de vue expérimental l'étude d'une électrode est toujours réalisée à l'aide d'une deuxième électrode de référence dont le potentiel est maintenu constant . Les variations de la ddp entre ces deux électrodes sont alors dues uniquement aux modifications qui surviennent à la première . Il est établi que l'interface électrode solution se comporte comme un condensateur . A un potentiel donné une électrode métallique porte une charge q^m et la solution une charge q^s (figure 2) .

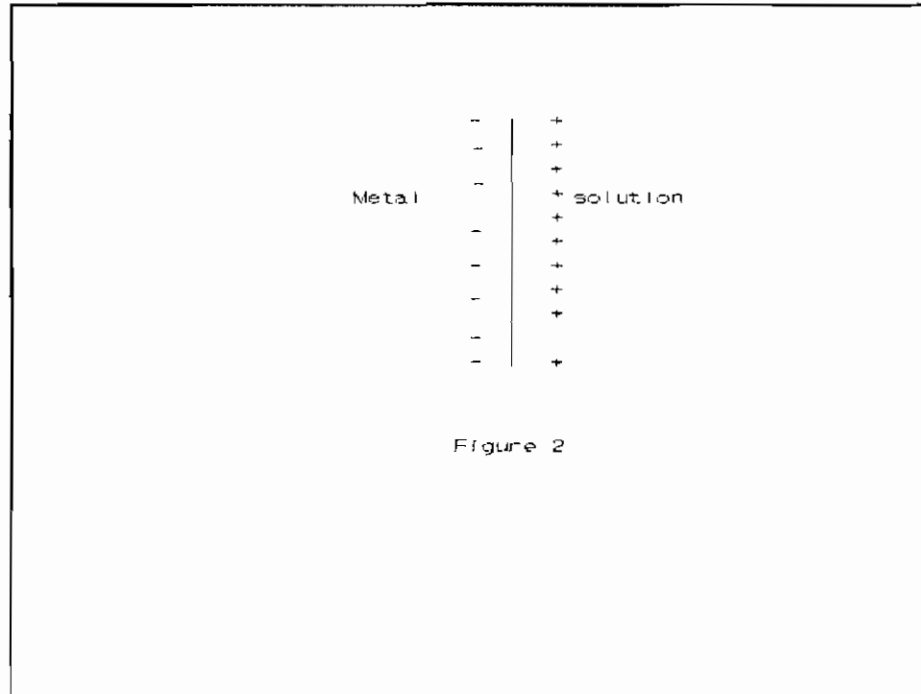


Figure 2

Figure 2: Interface électrochimique métal solution

La charge sur le métal peut être négative ou positive par rapport à la solution suivant la valeur du potentiel à travers l'interface d'une part et la composition de la solution électrolytique d' autre part . Dans tous les cas , en raison de l'électro-neutralité observée à l'interface on a $q^M = -q^S$. La charge sur le métal représente un excès ou un défaut d'électrons et elle est localisée dans une couche extrêmement mince ($<0.1\text{\AA}$) à la surface du métal . Les charges q^M et q^S ramenées à l'aire "A" de l'électrode définissent les densité de charge :

$$\sigma^M = \frac{q^M}{A}$$

$$\sigma^S = \frac{q^S}{A}$$

Ces charges sont souvent faibles et s'expriment en $\mu\text{c}/\text{cm}^2$. En première approximation on admet que la zone interfaciale est constituée de deux couches et on l'appelle pour cela **couche double**. Elle comporte aussi des dipôles orientés. On établit l'analogie de l'interface avec un condensateur en divisant les charges par le potentiel ce qui fait apparaître une capacité de double couche, C_d de l'ordre de 10 à 40 $\mu\text{F}/\text{cm}^2$. La particularité de cette capacité c'est qu'elle dépend du potentiel appliqué à l'électrode ce qui la distingue singulièrement d'un condensateur théorique dont la capacité en est indépendante.

La structure de la double couche serait plus complexe. Cependant on admet (modèle de GOUY-CHAPMAN) (12) que le côté de la couche situé dans la solution est constitué de plusieurs couches :

* **une couche dite interne** plus proche de la phase solide contenant des molécules de solvant et des espèces spécifiquement adsorbées. On l'appelle **couche compacte** ou **couche d'HELMOLTZ**. Les ions spécifiquement adsorbés (I.S.A) sont localisés sur un

ETUDE DES ASPECTS FONDAMENTAUX DE LA CORROSION ET DE LA PASSIVATION

plan appelé plan interne d'HELMOTZ (PIH) . Ce plan se trouve à la distance d_1 de l'électrode et la densité de charge correspondante est σ^i (fig 3a) . Les ions solvatés du métal s'approchent de l'électrode métallique à une distance au plus égale à d_2 sur un plan dit plan externe d'HELMOTZ (PEH) . En fait à cause de l'agitation thermique la zone des ions solvatés non spécifiquement adsorbés s'étend au delà du PEH dans une région appelée couche diffuse .

La densité de charge totale est σ^d dans la couche diffuse de sorte que :

$$\sigma^S = \sigma^i + \sigma^d$$

L'épaisseur de la couche diffuse dépend de la concentration ionique de la solution . Pour des solutions concentrées ($C > 10^{-2} M$) on ignore l'existence de cette couche .

Le profil du potentiel à travers la double couche est représenté à la figure 3b .

ETUDE DES ASPECTS FONDAMENTAUX DE LA CORROSION ET DE LA PASSIVATION

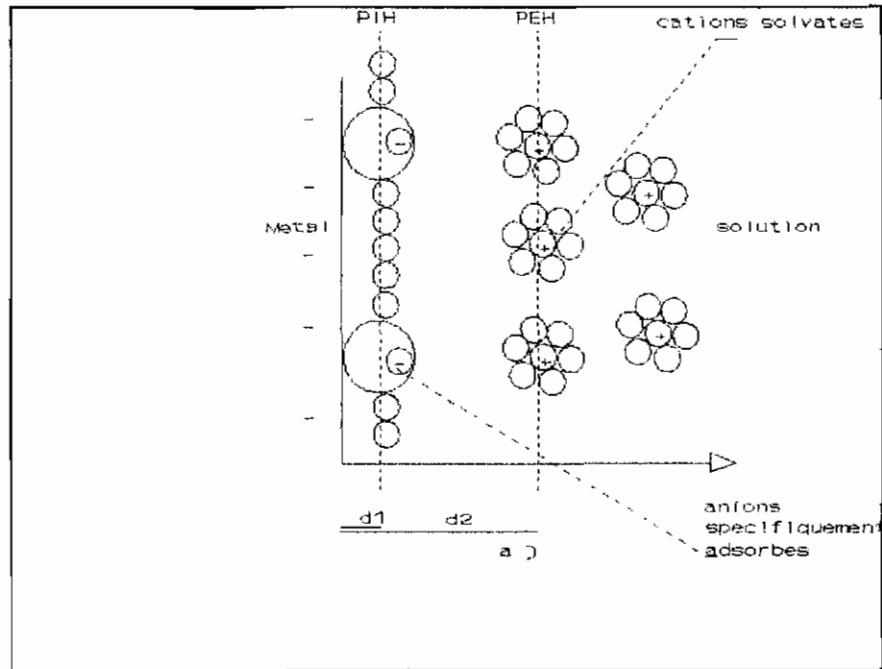


Figure3a : Structure de la double couche

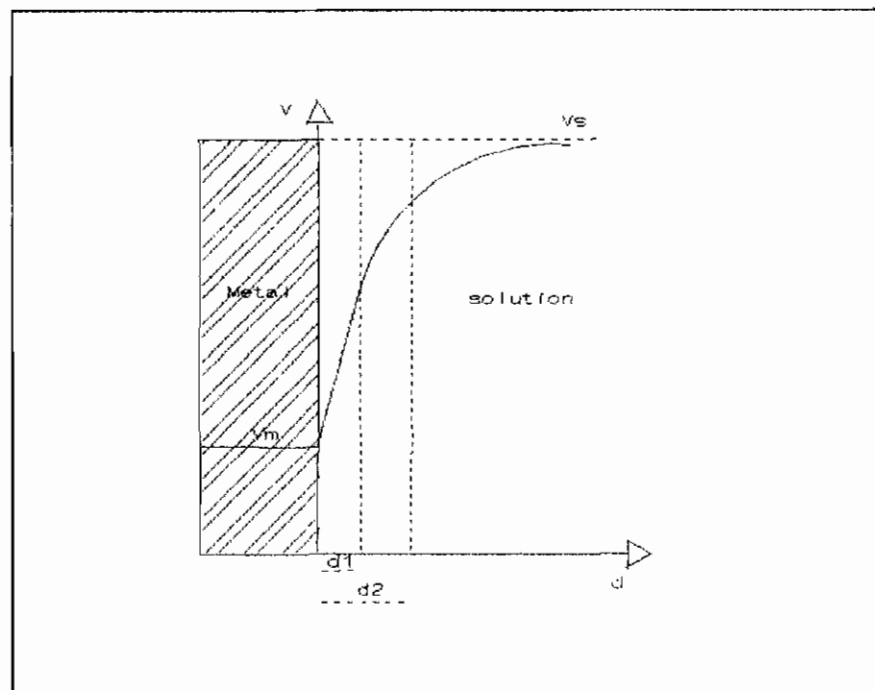


Figure3b : Profil du potentiel à l'interface métal solution

ETUDE DES ASPECTS FONDAMENTAUX DE LA CORROSION ET DE LA PASSIVATION

La structure électrique de la double couche affecte considérablement les vitesses de formation de l'oxyde d'où l'intérêt de sa détermination . Les électrodes sont en effet le siège de processus réactionnels d'oxydo-réduction qui régissent le transfert des électrons d'une phase à l'autre à travers l'interface . Ces réactions obéissent à la loi de Faraday et les processus sont dits faradiques .

Le transfert des charges est plus ou moins facilité ou rapide suivant la structure de l'interface . Celle-ci entraîne des résistances plus ou moins grandes au passage du courant d'où la présence d'éléments résistifs dans les circuits .

D) L'interface semi-conducteur électrolyte : distribution des charges en l'absence d'états de surface.

La densité des porteurs de charges libres dans un semi-conducteur est généralement beaucoup plus faible que dans un métal . Pour un semi-conducteur extrinsèque à bande interdite supérieure à 1eV, à la température ambiante, la contribution des porteurs générés thermiquement est négligeable et la conductivité est déterminée par la densité de donneurs ou de receveurs dans le cristal qui

donne lieu à conductivité de type n et de type p respectivement .

Les densité typiques de donneurs ou de receveurs se situent entre $10^{15} - 10^{18} \text{ cm}^{-3}$, quoi qu'on puisse rencontrer des valeurs en dehors de cette fourchette . Par conséquent , la densité ionique dans une solution électrolytique est autour de 10^{20} cm^{-3} et généralement supérieure de 2 ordres de grandeurs au moins à celle du semi-conducteur . Les densité de charges dans un métal sont encore plus élevées ($10^{22} - 10^{23} \text{ cm}^{-3}$) : dans le cas des métaux on peut considérer que la charges est localisée essentiellement en surface, dans un semi-conducteur et dans un électrolyte elle est répartie dans une région dite de charge diffuse ou d'espace . Dans ces deux dernières phases la distribution électrostatique des charges est virtuellement identique.

Par conséquent lorsque les électrons sont soutirés de la région superficielle d'un semi-conducteur de type n , les donneurs ionisés donnent lieu à une charge d' espace qui ramenée au potentiel donnent lieu à une capacité dite de charge d'espace. La présence de cette zone de charge d'espace entraîne la courbure des bandes d'énergie. La distribution des charges et du potentiel à travers l'interface semi-conducteur électrolyte est schématisée sur les figure 4 et 5.

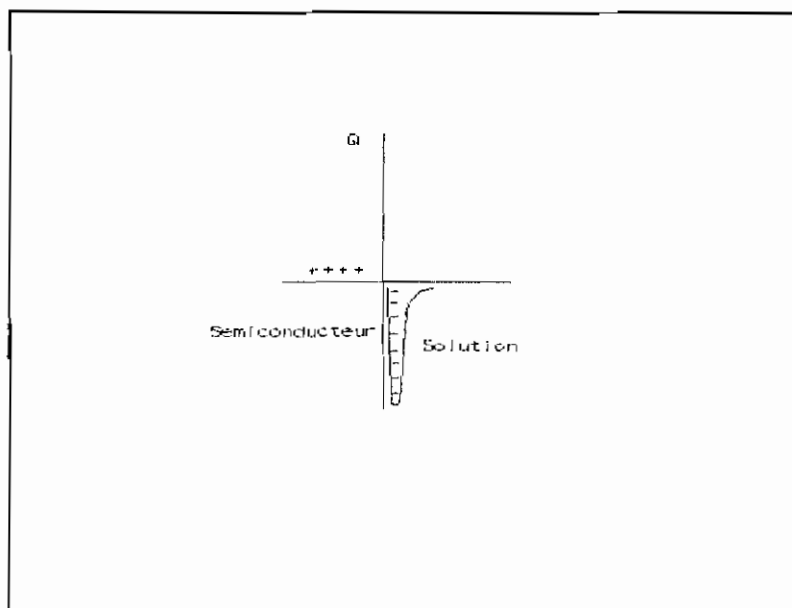


Figure 4 : Distribution de la charge

En résumé lorsque l'on met en contact un semi-conducteur et un électrolyte, il se produit un échange électronique entre les deux milieux jusqu'à l'obtention de l'égalité des potentiels chimiques. Il en résulte une structure en double couche électrique, avec du côté du semi-conducteur une zone de charge d'espace dont l'extension spatiale est de l'ordre de quelques dixièmes de micromètres à quelques micromètres ; alors que du côté de l'électrolyte la charge opposée est constituée par une couche d'ions dont l'épaisseur n'est que de quelques dixièmes de nanomètre. On voit ainsi apparaître entre le semi-conducteur et l'électrolyte une dissymétrie qui n'est que le reflet de la différence entre la concentration des porteurs de charges dans

ETUDE DES ASPECTS FONDAMENTAUX DE LA CORROSION ET DE LA PASSIVATION

les deux milieux . La figure 5 donne le diagramme énergétique de l'interface semi-conducteur (type n) électrolyte.

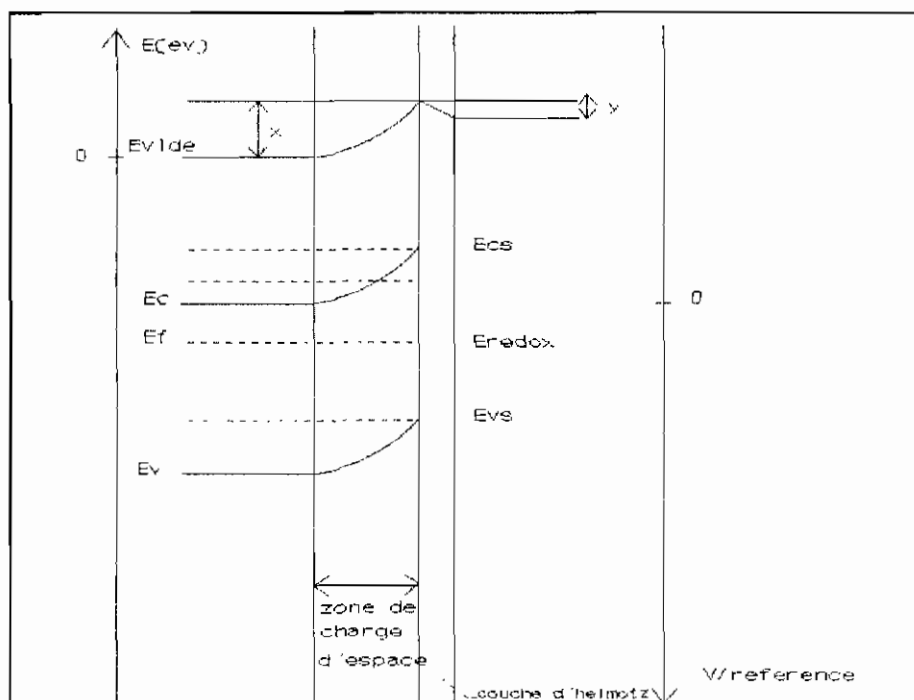


Figure 5 diagramme énergétique de l'interface semi-conducteur électrolyte à l'équilibre (trait plein) et en situation de bandes plates (traits discontinus)

Un tel diagramme est obtenu par la détermination préalable de la capacité de la charge d'espace . Les développements

théoriques montrent en effet que si la jonction semi-conducteur électrolyte est idéale (i.e si elle est exempte d'états de surface , états localisés dans le gap) il existe une relation linéaire entre l'inverse du carré de la capacité de la charge d'espace et le potentiel appliqué : cette relation est dite de **Mott-Schottky** qui s'écrit pour un semi-conducteur de type n :

$$C_{sc}^{-2} = \frac{2}{\epsilon_0 * \epsilon * e * N_D} * (V - V_{bp} - K * \frac{T}{e})$$

dans laquelle :

- ϵ_0 permittivité du vide
- ϵ_d constante diélectrique du semi-conducteur
- e charge électrique élémentaire
- N_d concentration en donneurs
- V potentiel appliqué
- V_{bp} potentiel de bandes plates
- k constante de Boltzman
- T température absolue

Tout écart de la jonction par rapport à l'idéal entraîne une déviation de la relation de Mott Schottky : C'est le cas des couches passives .

CHAPITRE II
CONCEPTS D'IMPEDANCE
ELECTROCHIMIQUE

A) Considérations générales

La tension d'une source et le courant qu'elle fournit sont souvent déphasés . L'angle de déphasage dépend de la nature de la charge . Dans la figure ci-après nous supposons que la charge Z est composée d'un groupement de résistances, d'inductances et de capacitances raccordées de façon quelconque . La tension aux bornes de la charge est E et le courant résultant est I . Comme dans le cas d'une résistance le rapport E/I est une mesure de l'opposition que la charge offre au passage du courant .

Dans les circuits à courant alternatif ce rapport E/I s'appelle impédance .

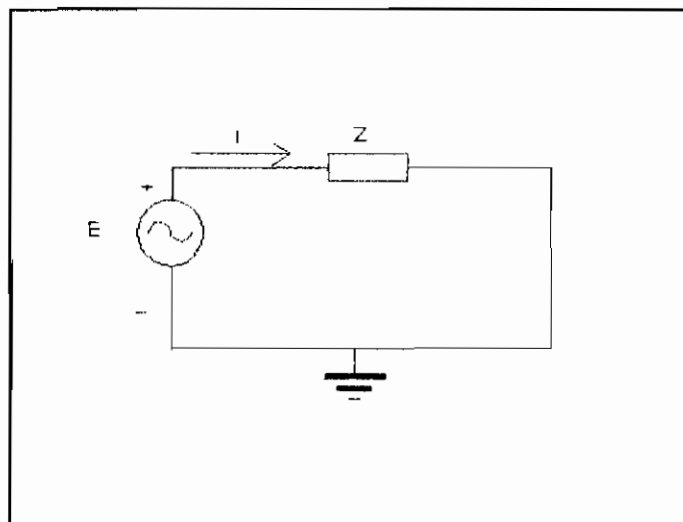


Figure6 : Circuit électrique généralisé

B) Cas des systèmes électrochimiques

La transmission du courant entre une électrode et un électrolyte s'accompagne généralement de phénomènes physico-chimiques non instantanés . Les processus de charges d'adsorption ou de transfert (diffusion ,migration,convection) soit isolément soit couplés leur induisent un comportement non linéaire . C'est le cas des systèmes passifs qui nous intéresse particulièrement (cf figure 1) . Ce type de courbe nous renseigne sur la cinétique du mécanisme réactionnel sans qu'il soit possible d'identifier les différents processus réactionnels intervenant dans la formation de la couche passive .

L'impédance est une technique dynamique qui vient en complément aux techniques stationnaires , en ce sens qu'elle renseigne sur les processus élémentaires de la réaction globale. Le domaine de fréquence exploré dans cette technique étant vaste , plusieurs processus peuvent être révélés . Ainsi le courant transmis par une électrode inerte ne servira qu'à charger la double couche ou d'une manière générale l'interface ; l'impédance est alors capacitive . Le déphasage qui apparaît lorsqu'on applique une surtension (dv) sinusoïdale traduit le fait que la mise en charge du condensateur n'est pas instantanée.

Si l'électrode est le siège d'un transfert de charges sans diffusion, le courant comporte deux composants :

* Le courant de charge de l'interface qui rend compte du comportement capacitif du système .

* un courant de transfert de charge entre l'électrode et l'électrolyte auquel est associée une impédance de transfert le déphasage dans ce cas est encore dû au processus de charge. Dans tous les cas la réaction de transfert de charge est couplée au transport de matière vers l'électrode (pour le réactif) ou vers la solution (pour les produits) . Il peut apparaître de ce fait une impédance de diffusion, appelée **IMPEDANCE DE WARBURG**, lorsqu'on peut négliger la contribution de la migration et la convection au transport . L'origine du déphasage propre à cette impédance est lié au fait que l'application de la tension alternative dV entraîne une modulation alternative des espèces électro-actives présentes à l'interface, par rapport à leurs valeurs stationnaires . Il en résulte une onde concentrationnaire déphasée de $\pi/4$ par rapport à l'onde excitatrice et dont l'expression est obtenue à partir de la seconde loi de **FICK** qui régit les processus de transport en régime variable . Ainsi une impédance diffusionnelle révélée dans un domaine de fréquence

précis (basses fréquences) traduit le fait que le transport de matière participe à la cinétique.

Signalons qu'à la suite des phénomènes d'adsorption il peut apparaître une impédance inductive.

La possibilité de partager le courant en différents composants conduit à l'établissement du modèle de comportement du système , c'est à dire à la représentation en terme de circuit électrique de l'interface à l'instar des circuits électriques classiques.

A titre d'exemple les figure a , b , c, respectivement une interface qui serait le siège d'un processus de charge uniquement, de transfert de charge sans diffusion et d'un processus de charge avec diffusion.

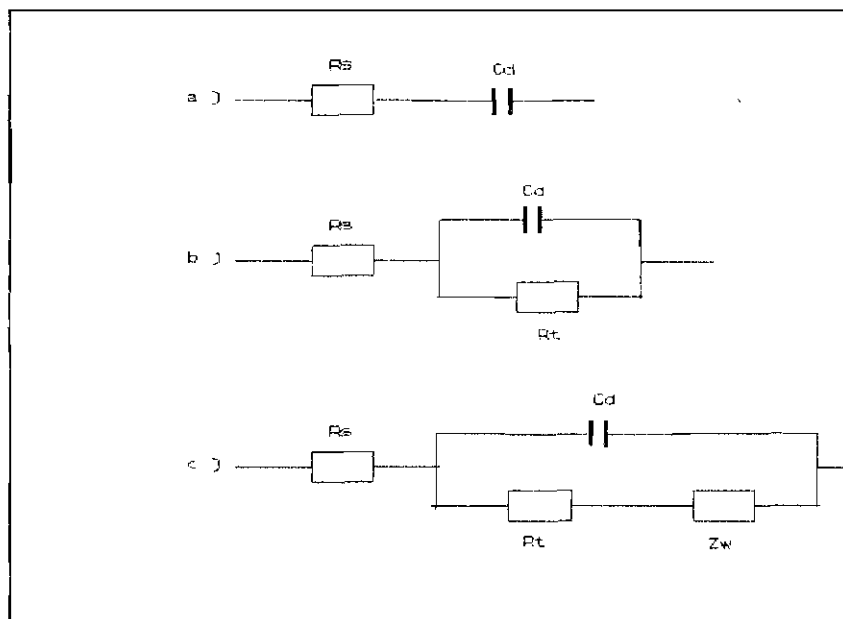


Figure 7 : Schéma équivalent d'une interface électrochimique

a) sans transfert de charge

b) avec transfert de charge sans diffusion

c)..... couplé à un phénomène de transport

R_t : résistance de transfert

R_s :de l'électrolyte

C_d : capacité de la double couche

Z_w : Impédance de warburg

C) REPRESENTATION DE L'IMPEDANCE

Il est usuel en électrochimie de représenter les données de mesures d'impédances dans le plan complexe (représentation de NYQUIST). L'impédance s'écrit alors

$$Z = X + iY$$

avec X : composante réelle

Y : composante imaginaire

φ : *déphasage*

$$tg(\varphi) = \frac{Y}{X}$$

Il est plus commode d'utiliser la représentation de Bode car elle permet le traitement des données dans un large domaine de fréquences contrairement à Nyquist où le paramétrage fréquentiel concerne quelques points seulement . De plus la représentation conjointe de la phase et du module permet de savoir si une ou plusieurs constantes de temps caractérisent le circuit . C'est ce mode de représentation que nous avons adopté dans notre travail.

CHAPITRE III
PROCEDURE D'ANALYSE DES DONNEES
D'IMPEDANCE ET RESOLUTION
EN TERME DE CIRCUIT EQUIVALENT

Procédure d'analyse des données d'impédance et résolution en terme de circuit équivalent

A) Bases élémentaires de la sélection d'une configuration donnée

La plupart des études électrochimiques décrivent l'interface en terme de circuit R-C série ou parallèle . Cependant à partir des données expérimentales on ne saurait se baser uniquement sur ces types de modèles . Il convient alors d'associer à la mesure une analyse théorique parfois développée pour corréler les données à une configuration particulière . La difficulté réside essentiellement dans le faite que plusieurs circuits peuvent rendre compte d'un même diagramme .

Avant toute chose une représentation de Bode des circuits les plus simples nous permettrait d'avoir déjà une idée des éléments pouvant intervenir dans notre modèle .

*Dans la représentation de Bode l'impédance d'une capacité pure est une droite de pente -1 . En effet

$$|Z| = \frac{1}{C \cdot \omega}$$

$$\log|Z| = -\log(2\pi C) - \log(f)$$

et la phase vaut -90° .

Procédure d'analyse des données d'impédance et résolution en terme de circuit équivalent

- * Une résistance par une ligne horizontale avec une phase nulle
- * Une impédance de waburg est une droite de pente $-1/2$ avec une phase de -45° .
- * La représentation des circuits R-C série et R-C parallèle est indiquée sur la figure 10 les deux circuits se distinguent l' un de l'autre par le fait que la partie résistive de l'impédance est située dans la basse fréquence pour R-C parallèle et dans les hautes pour R-C série

Procédure d'analyse des données d'impédance et résolution en terme de circuit équivalent

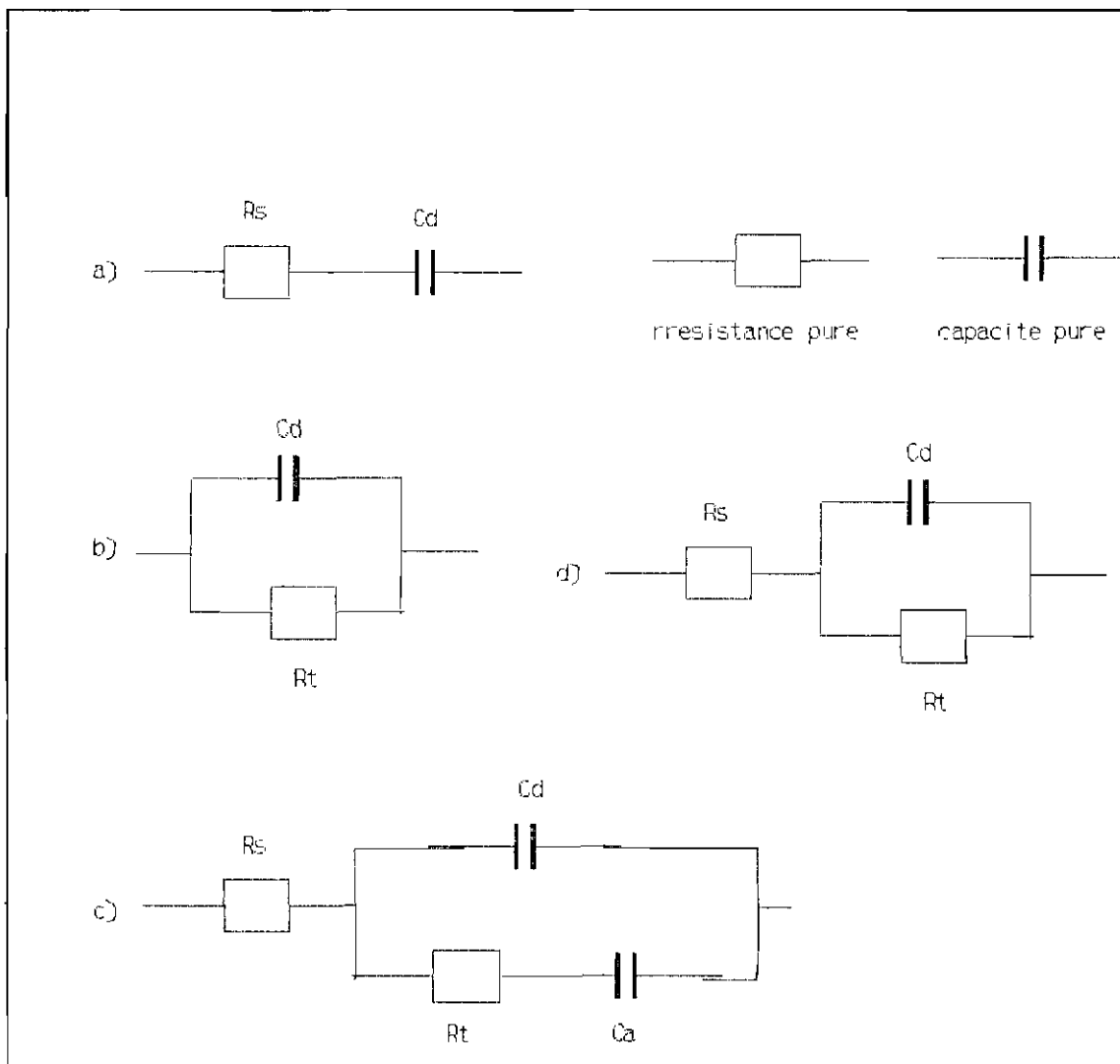


Figure8 : Quelques circuits simples

Procédure d'analyse des données d'impédance et résolution en terme de circuit équivalent

Il se présente parfois des situations où un diagramme d'impédance ne peut être décrit uniquement par des éléments simples . C'est le cas lorsqu'il se présente une impédance de Warburg .

Les systèmes physiques réels ont souvent des circuits équivalent plus complexes que des impédances diffusionnelles . Par ailleurs la figure 9 montre deux circuits qui correspondent à la même représentation de Bode bien que les valeurs des composantes soient différentes .

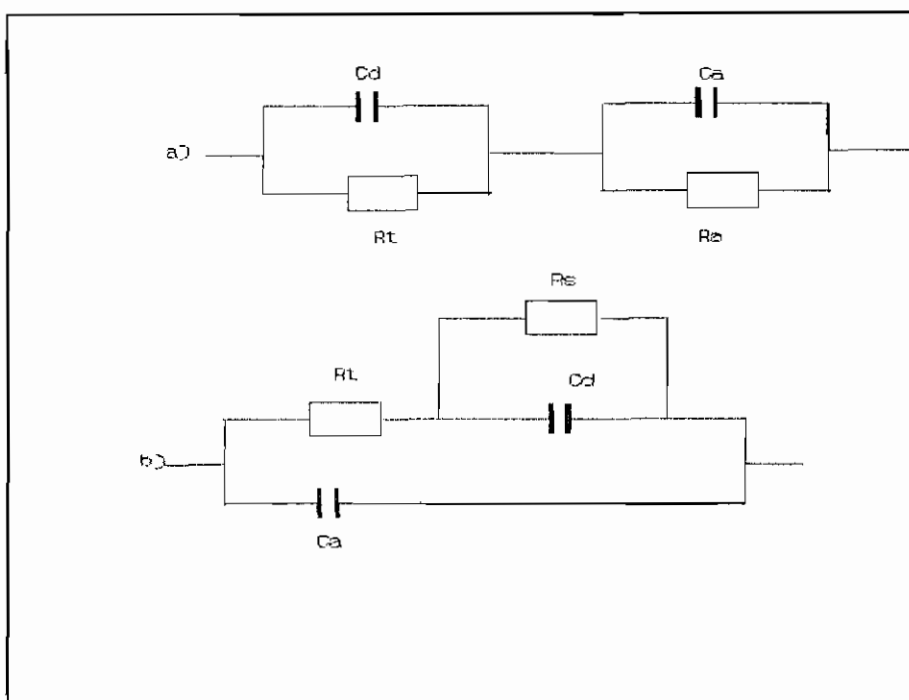
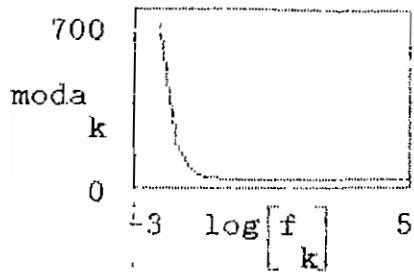


Figure 9 : Deux circuits conduisant à un même diagramme de Bode

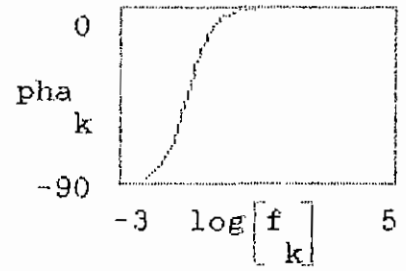
Procédure d'analyse des données d'impédance et résolution en terme de circuit équivalent

Ceci est un dilemme dans la modélisation et plusieurs approches peuvent être tentées pour lever l'ambiguïté. Par exemple on peut faire suivre l'évolution des paramètres du modèle en faisant varier les conditions expérimentales dans une large gamme .On en déduit une famille de courbes dont l'analyse permet de conclure. Si plus d'un composant ont la même dépendance en potentiel, on peut considérer qu'ils sont dûs au même phénomène physique.

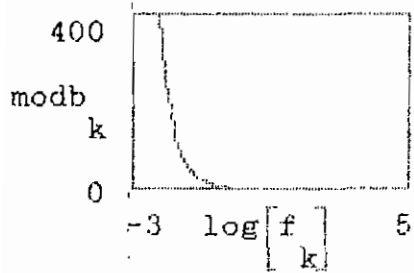
Ainsi pour un ensemble de potentiels , souvent une configuration permet à un modèle de rester constant tandis que les autres changent . Les méthodes numériques permettent de mieux cerner le problème.



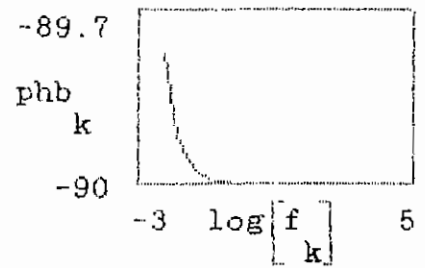
module fig 8 a



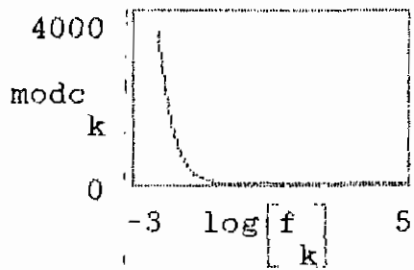
phase fig 8 a



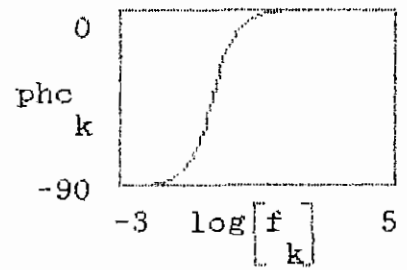
module fig 8 b



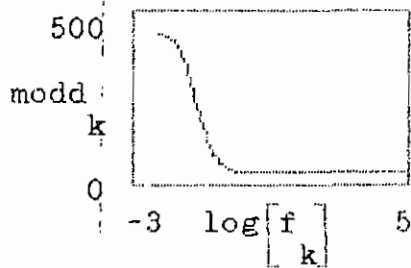
phase fig 8 b



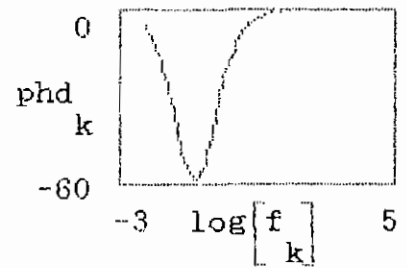
module fig 8 c



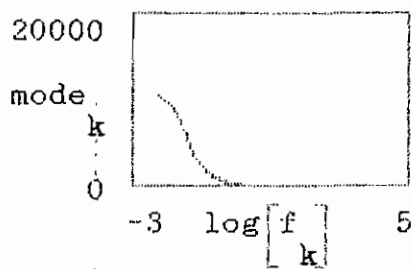
phase fig 8 c



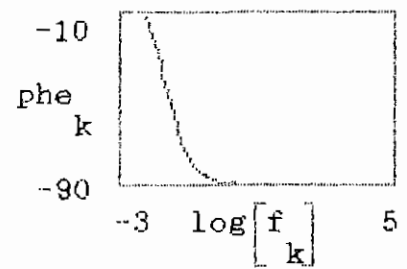
module fig 8 d



phase fig 8 d



module fig 9



phase fig 9

DIAGRAMME DE BODE DES CIRCUITS DES FIG (8,9)

Procédure d'analyse des données d'impédance et résolution en terme de circuit équivalent

B) Analyse des circuits

Comme nous l'avons déjà souligné de nombreux faits expérimentaux parmi lesquels la réponse photo-électrochimique révèlent que les film passifs des alliages à base de fer sont des matériaux semi-conducteurs dont le comportement est à l'échelle de leur dimension .

Dès lors on se posent les questions suivantes :

- * quel est la structure électronique de ces films
- * quel est le modèle électrique d'interface correspondant à ces oxydes en présence d'un électrolyte donné.
- * quel est le type de conductivité de ces oxydes.
- * quel est leur taux de dopage.

Les mesures d'impédance et de capacité sont souvent effectuées pour répondre à ces questions et les concepts de l'électrochimie sont étendus à ces systèmes. La pièce maîtresse de cette procédure est la vérification de la relation de Mott-schottky qui relie la capacité du semi-conducteur au potentiel appliqué à l'interface.

Cette capacité peut être déduite des mesures d'impédance en assimilant l'interface à un Circuit R-C série ou parallèle .

Procédure d'analyse des données d'impédance et résolution en terme de circuit équivalent

Dans notre cas les mesures expérimentales ont été faites en assimilant l'interface à un circuit R-C série sur la base des considérations suivantes :

dans le cas d'une jonction idéale , l'interface peut être représentée par le schéma équivalent de la figure 11 .

Dans l'approximation de Mott-Shottky C_{sc} est donnée par la relation :

$$C_{sc} = (\epsilon * \epsilon_0 * e * N_d)^{\frac{1}{2}} * (\Delta V_{sc} - K * \frac{T}{e})^{-\frac{1}{2}}$$

la chute de potentiel à travers la zone de charge d'espace est reliée à la chute de potentiel à travers l'interface par

$$\Delta V = \Delta V_{sc} + \Delta V_H$$

Delta V_H : chute de potentiel à travers la couche d'helmutz

Delta V_{sc} : zone de charge
d'espace

Delta V : l'interface

Procédure d'analyse des données d'impédance et résolution en terme de circuit équivalent

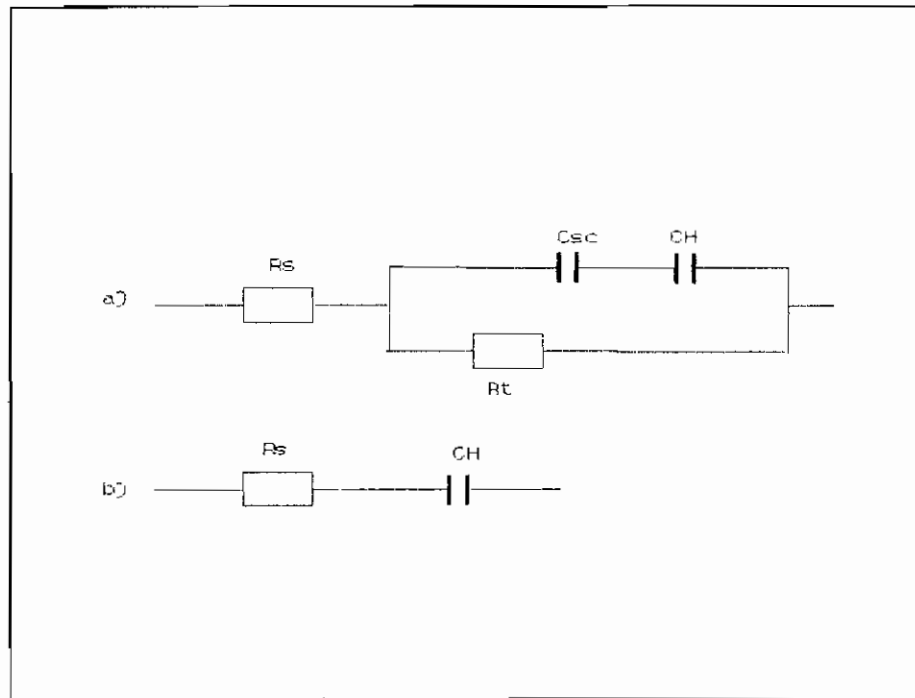


Figure 11 : Schéma électrique équivalent de l'interface semi-conducteur électrolyte

Légende

a) schéma complet

* C_{sc} capacité de la zone de charge d'espace

* C_H capacité de la couche d'helmutz

* R_t résistance faradique

* R_s résistance de l'électrolyte et des contacts

b) Schéma de mesure de la capacité différentiel de l'interface.

Procédure d'analyse des données d'impédance et résolution en terme de circuit équivalent

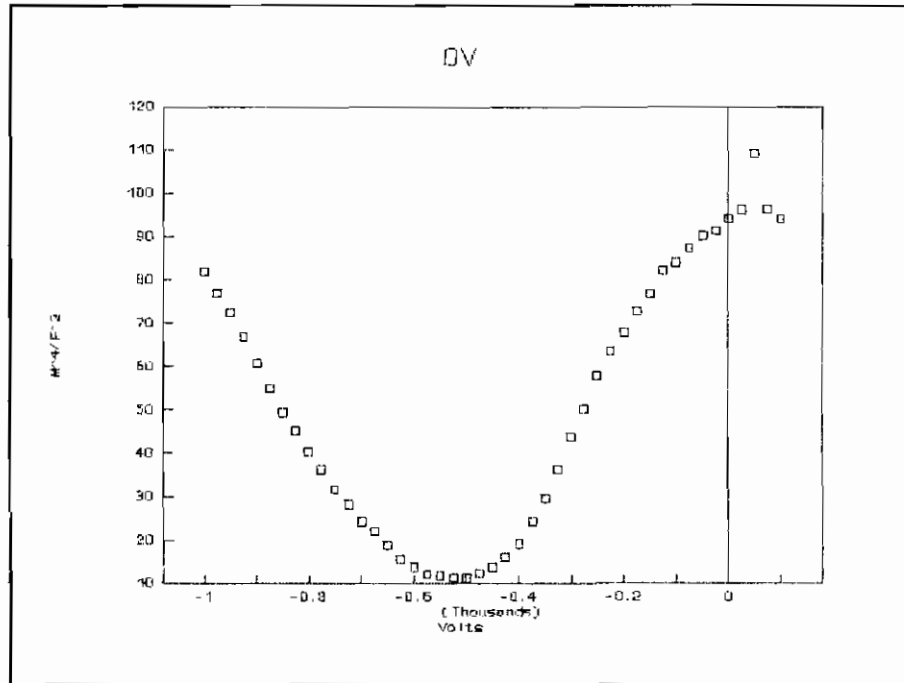
L'idéalité de la jonction entraîne une dépendance linéaire entre $(C_{sc})^{-2}$ et V . Dans le cas contraire il faut envisager une autre configuration pour l'interface.

Nous avons tenté dans le cadre de ce projet de rechercher pour différents potentiels de formation des films le circuit équivalent de l'interface. Les potentiels de croissance du film choisis pour cette étude parmi bien d'autres sont $(-300, -100, 0, +300, +600, +800)$ mV par rapport à l'électrode de référence. Ces potentiels sont tous situés sur le palier de passivation de l'acier inoxydable L304.

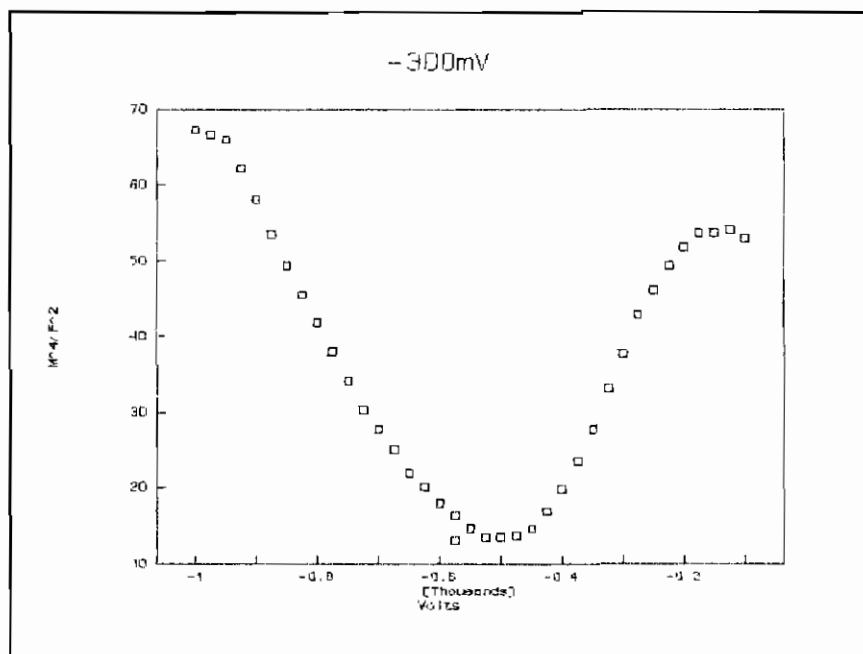
L'assimilation de l'interface à une jonction idéale qui se réduirait à un simple circuit R-C série ne permet pas de vérifier la relation de Mott-Schottky. On peut le voir sur les courbes des figures 12(a,b,c,d) suivantes où on a tracé $C_{sc}^{-2} = f(V)$.

Procédure d'analyse des données d'impédance et résolution en terme de circuit équivalent

a)



b)



Procédure d'analyse des données d'impédance et résolution en terme de circuit équivalent

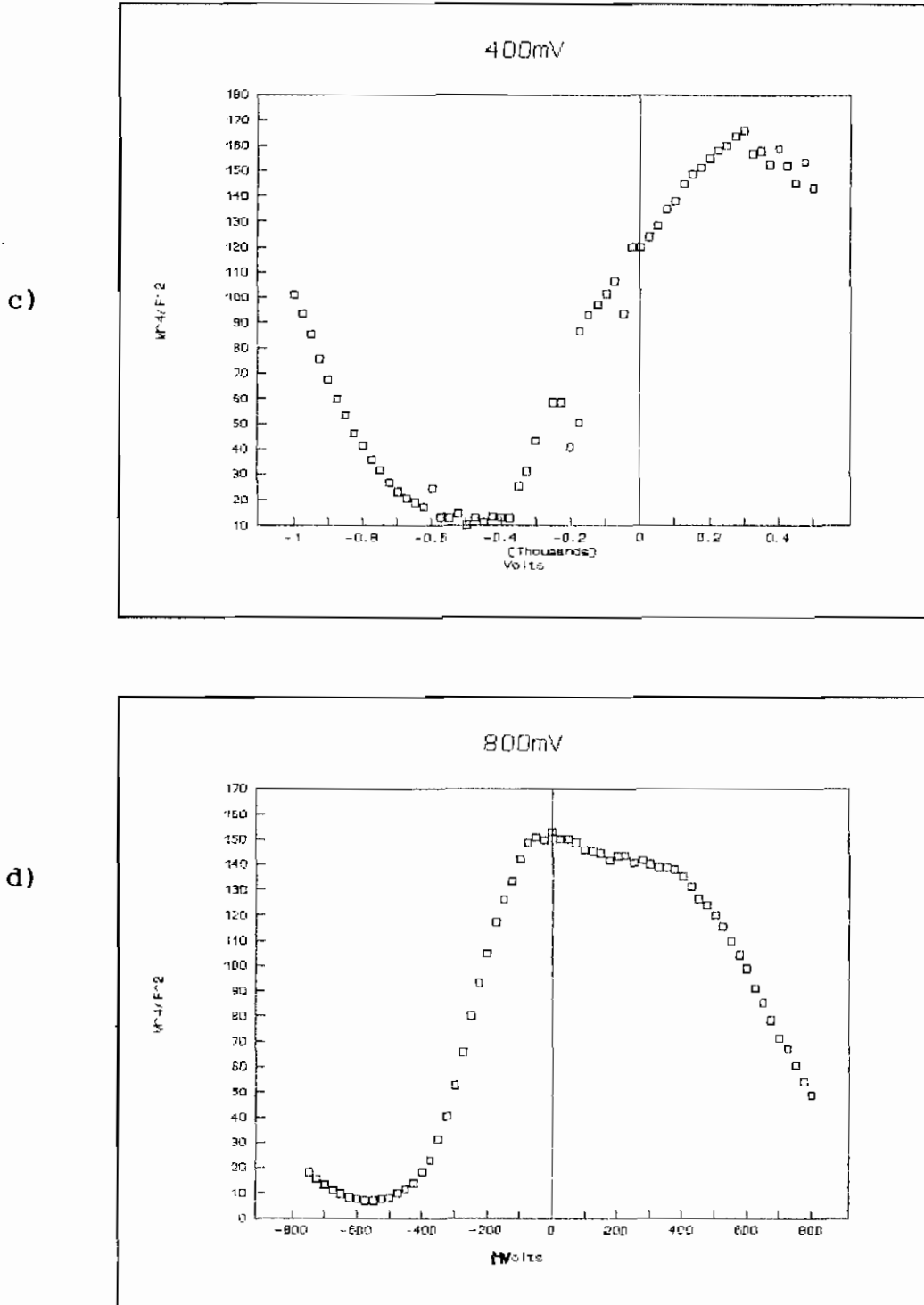


Figure 12(a,b,c,d) Courbes de MOTT SCHOKTTY

Procédure d'analyse des données d'impédance et résolution en terme de circuit équivalent

Il apparait que, quel que soit le potentiel de formation de l'oxyde le tracé conduit à une courbe pouvant présenter un domaine très étroit de linéarité . De toute évidence ces résultats signifient que la configuration électrique de l'interface est plus complexe que celle d'un circuit R-C série . D'où la recherche du circuit équivalent approprié . Dans cette optique trois autres circuits ont été invariablement proposés pour chaque potentiel: En effet à tous les potentiels du palier de passivation, la nature des oxydes est sans doute la même . Seules les valeurs numériques des composantes peuvent changer en fonction du potentiel . Le choix des différentes configurations repose sur des théories très poussées qui dépassent le cadre de ce projet . Nous nous contenterons simplement d'indiquer la signification des différents paramètres qui interviennent dans ces circuits . Les figures 13:a,b,c montrent les circuits retenus .

Procédure d'analyse des données d'impédance et résolution en terme de circuit équivalent

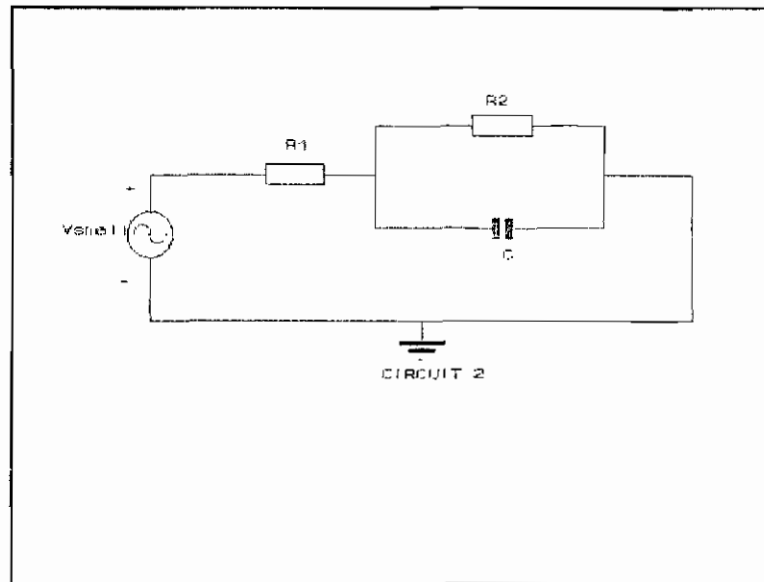


FIGURE 13a:

LEGENDE:

R_1 : résistance de l'électrolyte

$R_2 = R_t$: résistance de transfert

C : capacité interfaciale

Procédure d'analyse des données d'impédance et résolution en terme de circuit équivalent

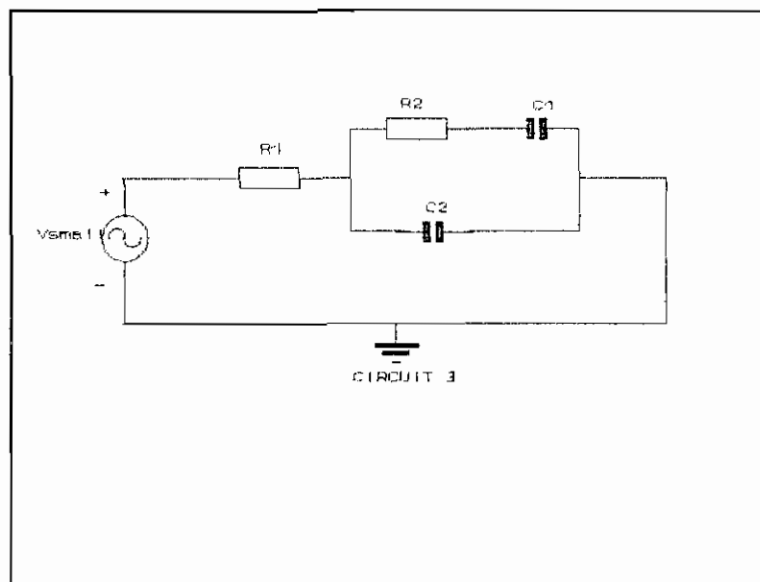


FIGURE 13b:

LEGENDE:

R_1 : résistance de l'électrolyte

R_2 : résistance de transfert

C_1 : capacité de l'oxyde

C_2 :d'Helmutz

Procédure d'analyse des données d'impédance et résolution en terme de circuit équivalent

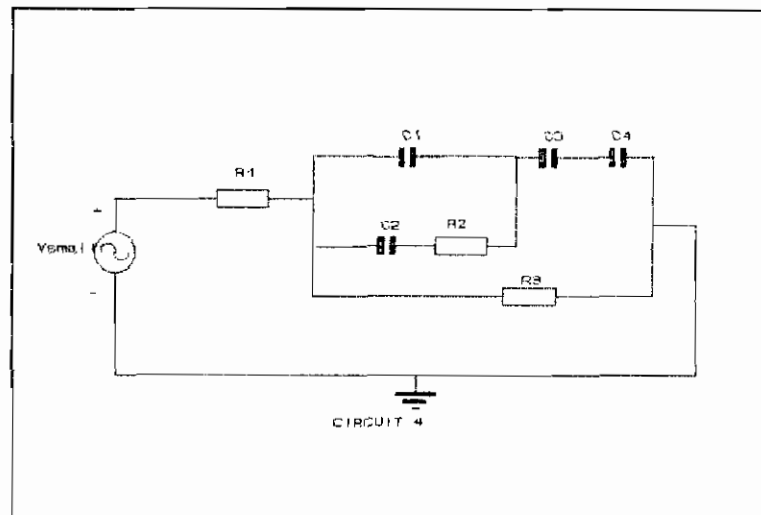


FIGURE 13C :

LEGENDE:

R1: résistance de l'électrolyte

R2: résistance de transfert liée au niveau profond

R3: résistance de transfert liée à la couche d'Helmutz

C1: capacité de l'oxyde

C2: capacité du niveau profond

C3: capacité de la charge d'espace

C4: capacité d'Helmutz

Procédure d'analyse des données d'impédance et résolution en terme de circuit équivalent

b) METHODE DU LISSAGE DES COURBES

Un des problèmes les plus fréquents qui se posent à un expérimentateur est de trouver une formule analytique pour décrire une fonction (un phénomène physique) dont il a mesuré en certains points (X_i) les valeurs expérimentales $f(X_i)$ où "f" est une fonction inconnue. On peut soupçonner une loi "f" qui a géré le processus et pour laquelle on voudrait ajuster les paramètres. On pratique dans ce cas un lissage de courbes.

Dans notre cas l'objectif est de trouver les valeurs des éléments résistifs et capacitifs des circuits proposés qui approximent le mieux les résultats expérimentaux. La fonction qui est supposée gérer notre processus est de ce fait l'impédance des circuits.

****Procédure****

A chaque circuit proposé correspond une impédance de module $|Z_{théorique}|$ et de phase $Arg(Z_{théorique})$.

A chaque fréquence de mesure correspond une impédance expérimentale de module $|Z_{exp}|$ et de phase $Arg(Z_{exp})$.

Procédure d'analyse des données d'impédance et résolution en terme de circuit équivalent

Si "s" est la fonction :

$$s(\omega, c_1 \dots c_n) = \sum (\text{Log}(|Z_{th}|) - \log(|Z_{exp}|))^2$$

où ω est la pulsation et les c_i les éléments capacitifs et résistifs du circuit considéré, on détermine les c_i de tel sorte que :

$$s(\omega, c_1 \dots c_n) \approx 0$$

On cherche donc à minimiser le carré des erreurs au niveau du module de l'impédance.

Pour arriver à nos fins nous avons utilisé le logiciel de mathématique **MATCAD**. En effet ce dernier grâce à sa fonction **MINERR** nous donne après maintes itérations les paramètres du lissage. Le procédé est le suivant :

On injecte des valeurs de départ des paramètres dans le système **MINERR** nous donne la valeur des paramètres lissés _ ces paramètres lissés sont de nouveau injectés dans le système et ainsi de suite . On arrête la boucle quand il n'y plus variation entre les valeurs de départ et les valeurs lissées.

Les résultats du lissage apparaissent dans les pages suivantes; Il apparait que c'est aux faibles valeurs de potentiel que les courbes expérimentales s'écartent le plus des courbes

Procédure d'analyse des données d'impédance et résolution en terme de circuit équivalent

théoriques . Le meilleur ajustement est obtenu aux potentiels de 0,300,600 mV pour l'ensemble des circuits mais c'est le circuit 3 qui donne les meilleurs résultats . Ce circuit est introduit pour tenir compte de la présence éventuelle d'un niveau profond à l'intérieur du gap . De plus ce circuit donne des valeurs de C2 (capacité de la double couche) qui sont en accord avec les valeurs disponibles dans la théorie soit 10 à 40 μ F/cm² .

Procédure d'analyse des données d'impédance et résolution en
terme de circuit équivalent

RESULTATS DU LISSAGE DES
COURBES

```

k := 0 ..61
f := READ(data)
  k
re := READ(r01)      IMPEDANCE REELLE
  k
im := READ(im1)     IMPEDANCE IMAGINAIRE
  k
zn := re - i · im
  k      k      k
w := 2 · π · f
r1 := 36
c := 1.157 · 10-4
  10      Valeurs de départ
r2 := 1.157 · 10

```

circuit 2

$$z1(\omega, r2, c) := \frac{-j}{c \cdot \omega}$$

$$z(\omega, r2, c) := z1(\omega, r2, c) \cdot \frac{r2}{z1(\omega, r2, c) + r2} + r1$$

$$s(\omega, r2, c) := \sum_k \left[\log \left| \left| z_k(\omega, r2, c) \right| \right| - \log \left| \left| z_{r_k} \right| \right| \right]^2$$

given

$$s(\omega, r2, c) \approx 0$$

$$1 \approx 1$$

$$\begin{bmatrix} r2 \\ c \end{bmatrix} := \text{Minerr}(r2, c)$$

VALEURS TROUVEES (potentiel de -300mV)

$$r_2 = 1.157 \cdot 10^{10} \text{ Ohm}$$

Ohm

$$c = 1.146 \cdot 10^{-4} \text{ Farad/cm}^2$$

Farad/cm²

$$s(0, r_2, c) = 2.877$$

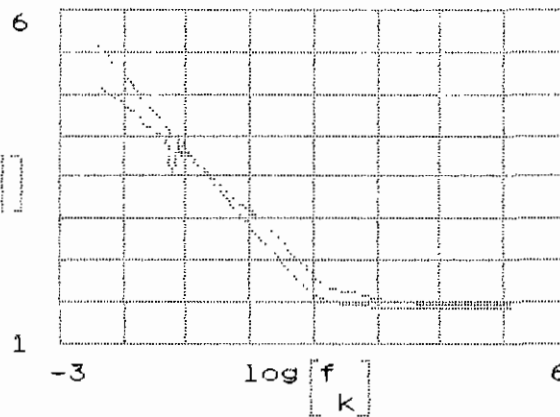
$$\text{Var} := \frac{s(0, r_2, c)}{61 - 2}$$

(VARIANCE)

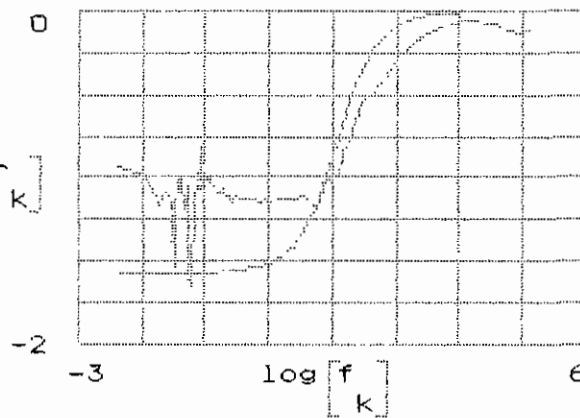
$$\text{Var} = 0.049$$

f := READ(data)
k

$\log \left[\left| z \left[\frac{w}{k}, r_2, c \right] \right| \right], \log \left[\left| z r \left[\frac{w}{k} \right] \right| \right]$



$\arg \left[z \left[\frac{w}{k}, r_2, c \right] \right], \arg \left[z r \left[\frac{w}{k} \right] \right]$



VALEURS TROUVEES (potentiel de 0mV)

$$r_2 = 1.157 \cdot 10^{10} \quad \text{Ohm}$$

$$c = 2.722 \cdot 10^{-5} \quad \text{Farad/cm}^2$$

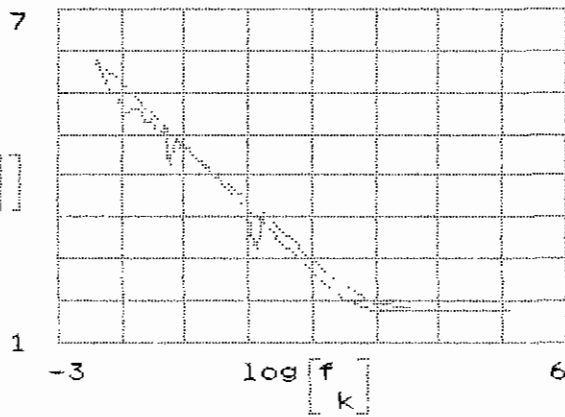
$$s(0, r_2, c) = 2.043$$

$$\text{Var} := \frac{s(0, r_2, c)}{61 - 2} \quad (\text{VARIANCE})$$

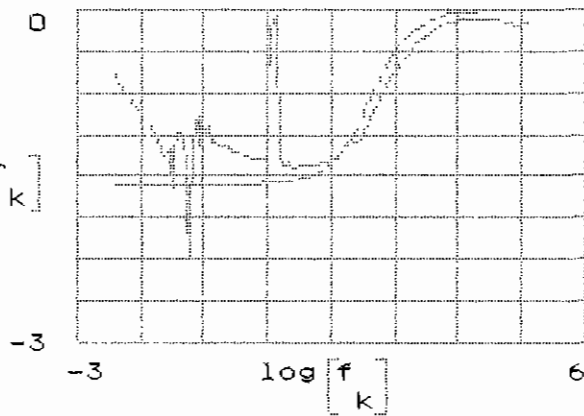
$$\text{Var} = 0.035$$

f := READ(data)
k

$\log \left[\left| z \left[\begin{smallmatrix} 0 \\ k \end{smallmatrix} \right], r_2, c \right| \right], \log \left[\left| z_r \left[\begin{smallmatrix} 0 \\ k \end{smallmatrix} \right] \right| \right]$



$\arg \left[z \left[\begin{smallmatrix} 0 \\ k \end{smallmatrix} \right], r_2, c \right], \arg \left[z_r \left[\begin{smallmatrix} 0 \\ k \end{smallmatrix} \right] \right]$



VALEURS TROUVEES (potentiel de 300mV)

$$r_2 = -7.283 \cdot 10^{10} \quad \text{Ohm}$$

$$c = 2.275 \cdot 10^{-5} \quad \text{Farad/cm}^2$$

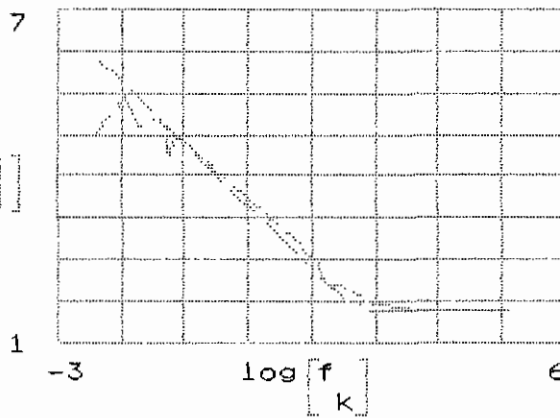
$$s(0, r_2, c) = 3.163$$

$$\text{Var} := \frac{s(0, r_2, c)}{61 - 2} \quad (\text{VARIANCE})$$

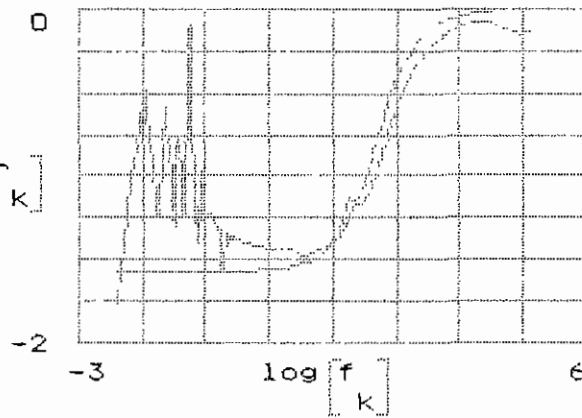
$$\text{Var} = 0.054$$

f := READ(data)
k

$\log \left[\left| z \left[\begin{smallmatrix} 0 \\ k \end{smallmatrix} \right], r_2, c \right| \right], \log \left[\left| z \left[\begin{smallmatrix} r \\ k \end{smallmatrix} \right] \right| \right]$



$\text{ang} \left[z \left[\begin{smallmatrix} 0 \\ k \end{smallmatrix} \right], r_2, c \right], \text{ang} \left[z \left[\begin{smallmatrix} r \\ k \end{smallmatrix} \right] \right]$



VALEURS TROUVEES (potentiel de 600mV)

$$r_2 = -7.283 \cdot 10^{10} \text{ Ohm}$$

$$c = 2.421 \cdot 10^{-5} \text{ Farad/cm}^2$$

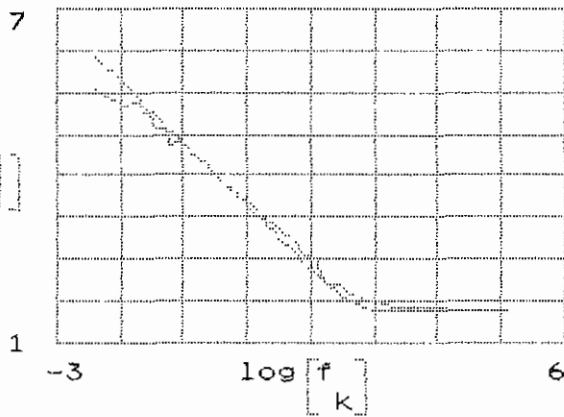
$$s(0, r_2, c) = 1.134$$

$$\text{Var} := \frac{s(0, r_2, c)}{61 - 2} \quad (\text{VARIANCE})$$

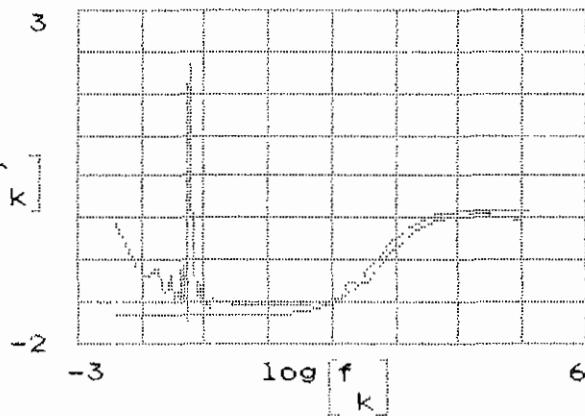
$$\text{Var} = 0.019$$

f := READ(data)
k

$\log \left[\left| z_k^0, r_2, c \right| \right], \log \left[\left| z_{r_k} \right| \right]$



$\arg \left[z_k^0, r_2, c \right], \arg \left[z_{r_k} \right]$



VALEURS TROUVEES (potentiel de 800mV)

$$r_2 = -7.283 \cdot 10^{10} \text{ Ohm}$$

$$c = 5.201 \cdot 10^{-5} \text{ Farad/cm}^2$$

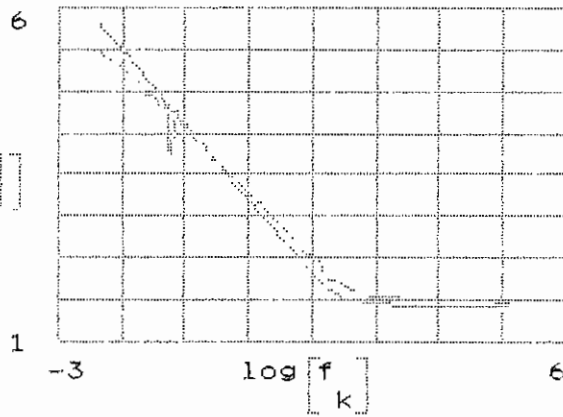
$$s(\omega, r_2, c) = 1.484$$

$$\text{Var} := \frac{s(\omega, r_2, c)}{61 - 2} \quad (\text{VARIANCE})$$

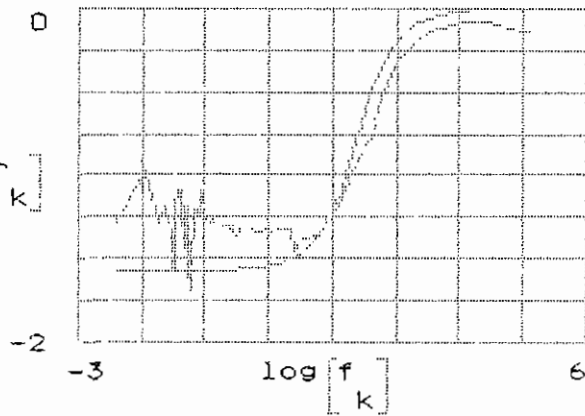
$$\text{Var} = 0.025$$

f := READ(data)
k

$\log \left[\left| z_k^{(n)}, r_2, c \right| \right], \log \left[z_{r_k} \right]$



$\text{arg} \left[z_k^{(n)}, r_2, c \right], \text{arg} \left[z_{r_k} \right]$



circuit 3

$$z(\omega, r2, c1, c2) := \left[r2 - \frac{j}{c1 \omega} \right] \frac{\frac{-j}{c2 \omega}}{r2 - \frac{j}{\omega} \left[\frac{1}{c1} + \frac{1}{c2} \right]} + r1$$

$$f(\omega, r2, c1, c2) := |z(\omega, r2, c1, c2)|$$

$$s(\omega, r2, c1, c2) := \sum_k \left[\log \left[f \left[\frac{\omega}{k}, r2, c1, c2 \right] \right] - \log \left[zr_k \right] \right]^2$$

given

$$s(\omega, r2, c1, c2) \approx 0$$

$$1 \approx 1$$

$$2 \approx 2$$

$$\begin{bmatrix} r2 \\ c1 \\ c2 \end{bmatrix} := \text{Minerr}(r2, c1, c2)$$

VALEURS TROUVEES (potentiel de -300mV)

$$r2 = 1.933 \cdot 10^4$$

$$c1 = -3.963 \cdot 10^9$$

$$c2 = 8.507 \cdot 10^{-5}$$

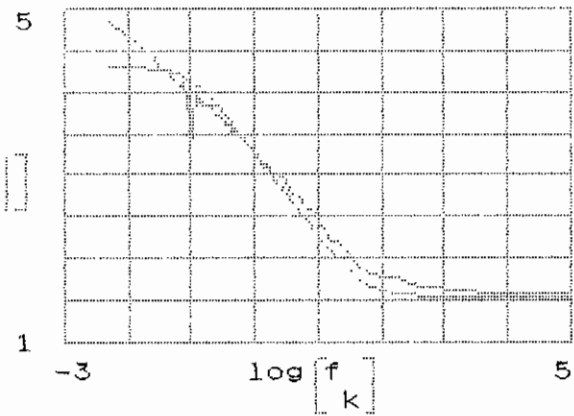
f := READ(data)
k

$$s(0, r2, c1, c2) = 1.626$$

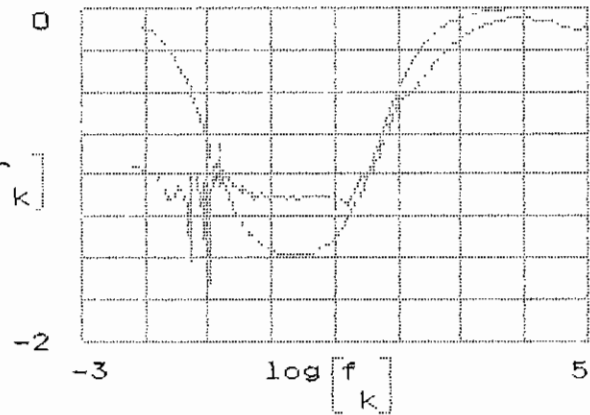
$$\text{Var} := \frac{s(0, r2, c1, c2)}{61 - 2} \quad \text{Variance}$$

$$\text{Var} = 0.028$$

$$\log \left[\left| z \left[\begin{matrix} 0 \\ k \end{matrix} \right], r2, c1, c2 \right| \right], \log \left[\left| z r \left[\begin{matrix} \\ k \end{matrix} \right] \right| \right]$$



$$\arg \left[z \left[\begin{matrix} 0 \\ k \end{matrix} \right], r2, c1, c2 \right], \arg \left[z r \left[\begin{matrix} \\ k \end{matrix} \right] \right]$$



VALEURS TROUVEES (potentiel de 0mV)

$$r2 = 6.377 \cdot 10^5$$

$$s(0, r2, c1, c2) = 2.055$$

$$c1 = -4.884 \cdot 10^3$$

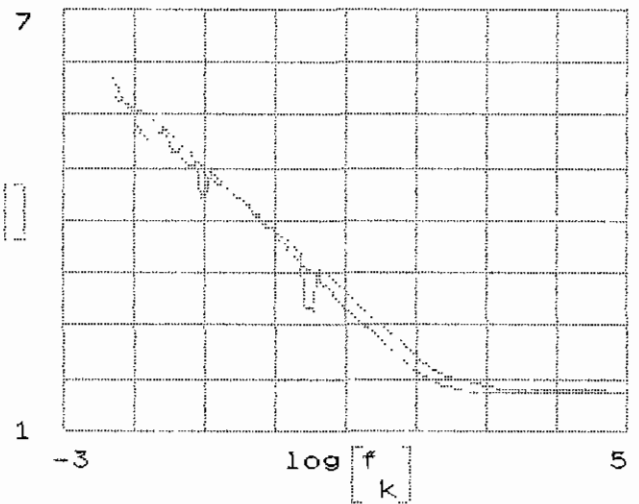
$$\text{Var} := \frac{s(0, r2, c1, c2)}{61 - 2} \quad \text{Variance}$$

$$c2 = 2.666 \cdot 10^{-5}$$

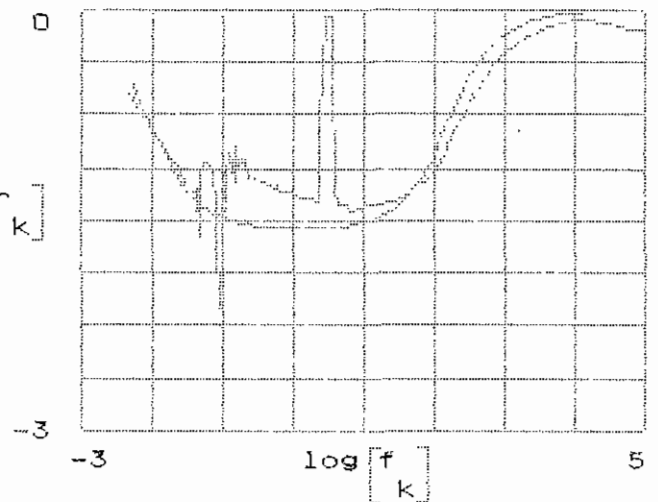
f := READ(data)
k

$$\text{Var} = 0.035$$

$\log \left[\left| z_k^{(0)}, r2, c1, c2 \right| \right], \log \left[|z_k| \right]$



$\arg \left[z_k^{(0)}, r2, c1, c2 \right], \arg \left[z_k \right]$



VALEURS TROUVEES (potentiel de 300mV)

$$r2 = 1.041 \cdot 10^5$$

$$s(\omega, r2, c1, c2) = 0.615$$

$$c1 = 3.789 \cdot 10^{10}$$

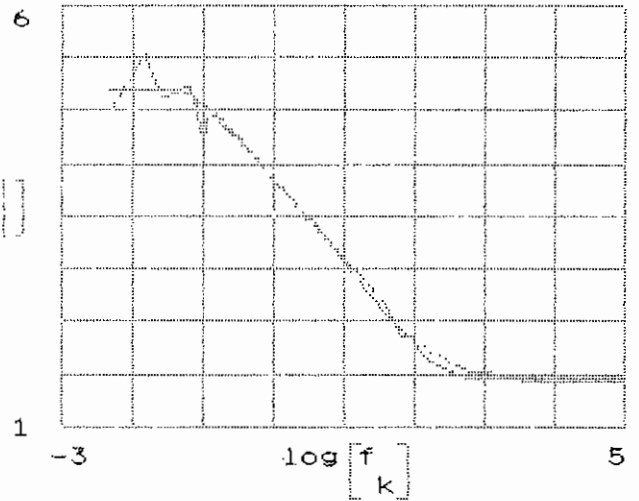
$$\text{Var} := \frac{s(\omega, r2, c1, c2)}{61 - 2} \quad \text{Variance}$$

$$c2 = 1.783 \cdot 10^{-5}$$

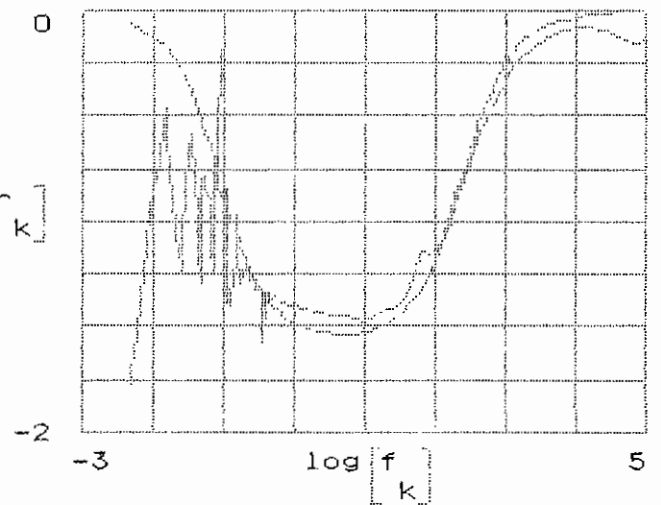
f := READ(data)
k

$$\text{Var} = 0.01$$

$\log \left[\left| z_k^{(0)}, r2, c1, c2 \right| \right], \log \left[|zr_k| \right]$



$\arg \left[z_k^{(0)}, r2, c1, c2 \right], \arg \left[zr_k \right]$



VALEURS TROUVEES (potentiel de 600mV)

$$r2 = 1.616 \cdot 10^5$$

$$s(\omega, r2, c1, c2) = 0.508$$

$$c1 = -4.884 \cdot 10^3$$

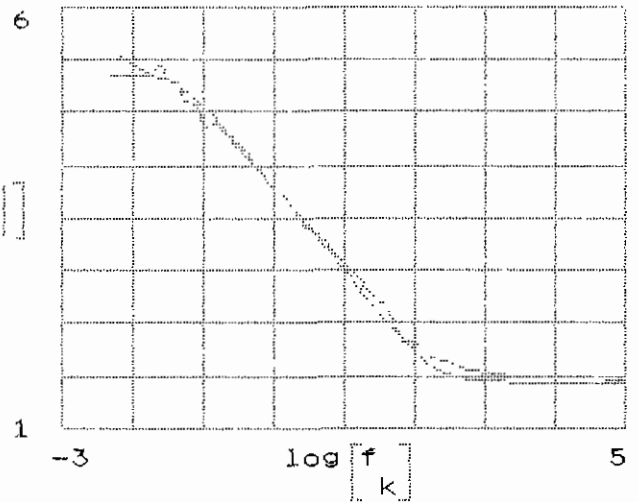
$$\text{Var} := \frac{s(\omega, r2, c1, c2)}{61 - 2} \quad \text{Variance}$$

$$c2 = 2.132 \cdot 10^{-5}$$

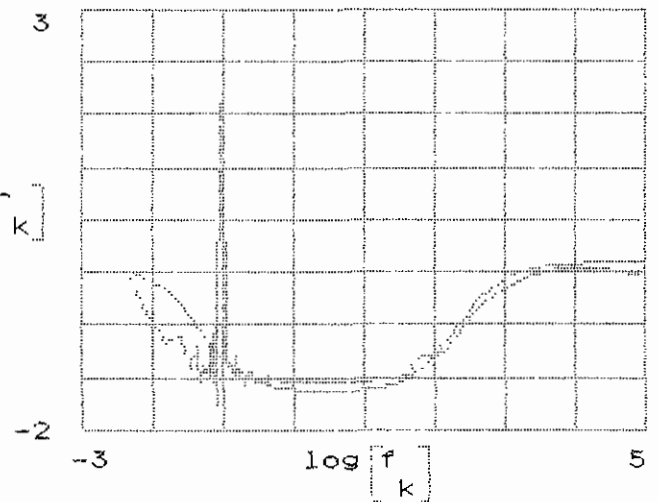
f_k := READ(data)
k

$$\text{Var} = 0.009$$

$\log \left[\left| z_k^{\text{th}}(r2, c1, c2) \right| \right], \log \left[|zr_k| \right]$



$\arg \left[z_k^{\text{th}}(r2, c1, c2) \right], \arg \left[zr_k \right]$



VALEURS TROUVEES (potentiel de 800mV)

$$r2 = 1.192 \cdot 10^5$$

$$s(0, r2, c1, c2) = 1.139$$

$$c1 = -4.596 \cdot 10^9$$

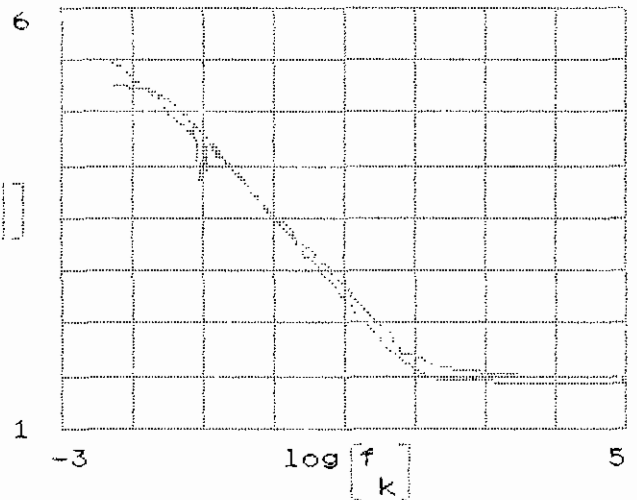
$$\text{Var} := \frac{s(0, r2, c1, c2)}{61 - 2} \quad \text{Variance}$$

$$c2 = 4.76 \cdot 10^{-5}$$

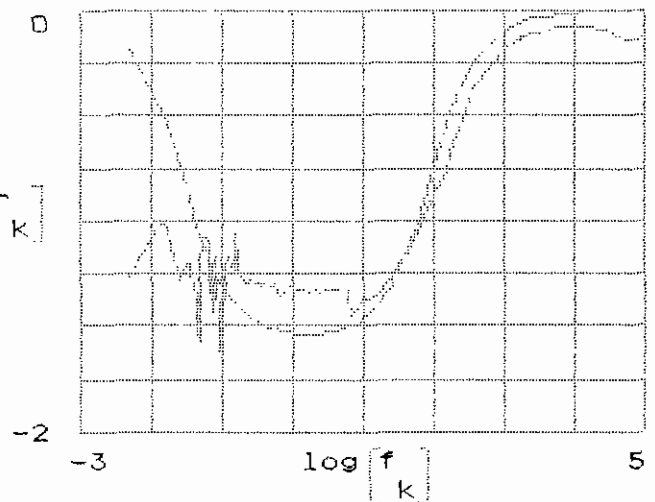
f := READ(data)
k

$$\text{Var} = 0.019$$

$\log \left[\left| z \left[\frac{f}{k} \right], r2, c1, c2 \right| \right], \log \left[\left| z_r \left[\frac{f}{k} \right] \right| \right]$



$\arg \left[z \left[\frac{f}{k} \right], r2, c1, c2 \right], \arg \left[z_r \left[\frac{f}{k} \right] \right]$



circuit 4

$$z1(\omega, r2, r3, c1, c2, c3, c4) := \frac{\left[\frac{1}{j \cdot c1 \cdot \omega} \right] \left[\frac{1}{j \cdot c4 \cdot \omega} + r2 \right]}{\frac{1}{j \cdot c1 \cdot \omega} + \frac{1}{j \cdot c4 \cdot \omega} + r2} + \frac{1}{j \cdot c2 \cdot \frac{c3}{c2 + c3}}$$

$$z(\omega, r2, r3, c1, c2, c3, c4) := \frac{z1(\omega, r2, r3, c1, c2, c3, c4) \cdot r3}{z1(\omega, r2, r3, c1, c2, c3, c4) + r3} + r1$$

$$f(\omega, r2, r3, c1, c2, c3, c4) := |z(\omega, r2, r3, c1, c2, c3, c4)|$$

$$y_k := \left| \frac{zr}{k} \right|$$

$$s(\omega, r2, r3, c1, c2, c3, c4) := \sum_k \left[\log \left[f \left[\frac{\omega}{k} \right], r2, r3, c1, c2, c3, c4 \right] - \log \left[\frac{y}{k} \right] \right]^2$$

given

$$s(\omega, r2, r3, c1, c2, c3, c4) \approx 0$$

$$1 \approx 1$$

$$2 \approx 2$$

$$3 \approx 3$$

$$4 \approx 4$$

$$5 \approx 5$$

$$\begin{bmatrix} r2 \\ r3 \\ c1 \\ c2 \\ c3 \\ c4 \end{bmatrix} := \text{minerr}(r2, r3, c1, c2, c3, c4)$$

Valeurs trouvées (potentiel de -300mV)

$$r2 = -3.306 \cdot 10^3 \text{ ohm}$$

$$r3 = 1.656 \cdot 10^8 \text{ ohm}$$

$$c1 = 8.167 \cdot 10^{-5} \text{ farad/cm}^2$$

$$c3 = 68.268 \text{ farad/cm}^2$$

$$c2 = 2.457 \cdot 10^{-4} \text{ farad/cm}^2$$

$$c4 = -2.065 \cdot 10^7 \text{ farad/cm}^2$$

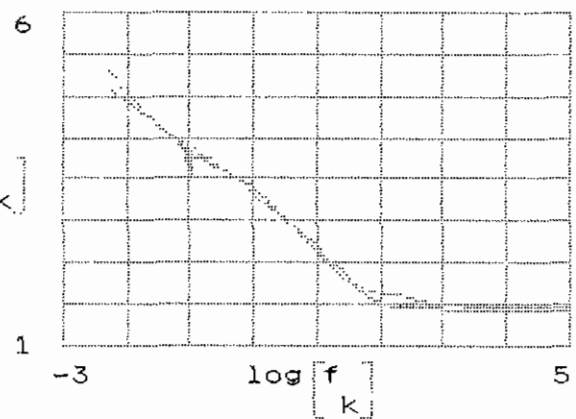
$$s(\theta, r2, r3, c1, c2, c3, c4) = 0.554$$

$$\text{Var} := \frac{s(\theta, r2, r3, c1, c2, c3, c4)}{62 - 2}$$

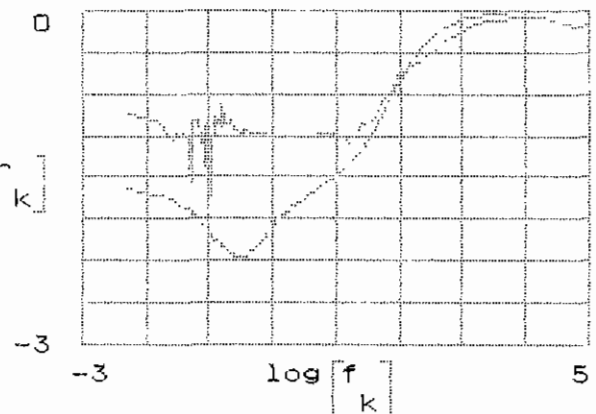
Variance

$$\text{Var} = 0.009$$

$$\log \left[\left| z_k^{\theta} \right|, r2, r3, c1, c2, c3, c4 \right], \log \left[y_k \right]$$



$$\text{ang} \left[z_k^{\theta}, r2, r3, c1, c2, c3, c4 \right], \text{ang} \left[z_k^r \right]$$



k

Valeurs trouvees (potentiel de 0mV)

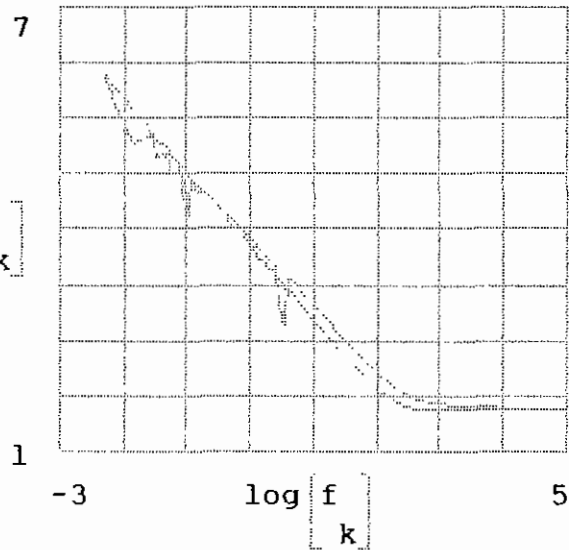
$r_2 = -5.938 \cdot 10^{11}$	ohm	$r_3 = -1.1 \cdot 10^{18}$	ohm
$c_1 = 68.433$	farad/cm ²	$c_3 = 1.118 \cdot 10^{11}$	farad/cm ²
$c_2 = 2.725 \cdot 10^{-5}$	farad/cm ²	$c_4 = -3.088 \cdot 10^9$	farad/cm ²

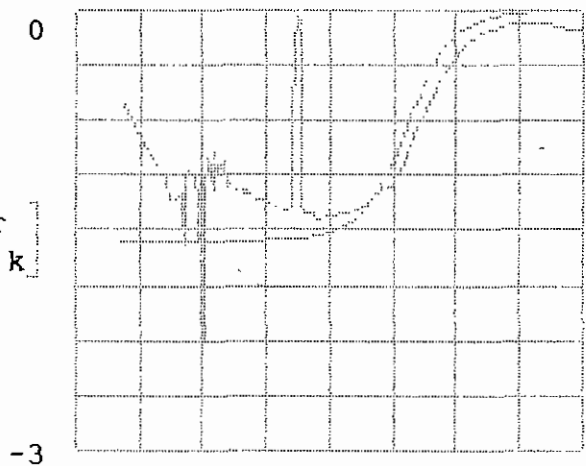
$s(0, r_2, r_3, c_1, c_2, c_3, c_4) = 2.043$

$$\text{Var} := \frac{s(0, r_2, r_3, c_1, c_2, c_3, c_4)}{62 - 2}$$

Variance

Var = 0.034

$$\log \left[\left| z \left[\begin{matrix} 0 \\ k \end{matrix} \right], r_2, r_3, c_1, c_2, c_3, c_4 \right| \right], \log \left[\frac{y}{k} \right]$$


$$\arg \left[z \left[\begin{matrix} 0 \\ k \end{matrix} \right], r_2, r_3, c_1, c_2, c_3, c_4 \right], \arg \left[\frac{z_r}{k} \right]$$


Valeurs trouvees (potentiel de 300mV)

$r_2 = -1.386 \cdot 10^{11}$	ohm	$r_3 = 1.572 \cdot 10^{24}$	ohm
$c_1 = -2.239 \cdot 10^9$	farad/cm ²	$c_3 = -1.043 \cdot 10^{10}$	farad/cm ²
$c_2 = 2.278 \cdot 10^{-5}$	farad/cm ²	$c_4 = -3.088 \cdot 10^9$	farad/cm ²

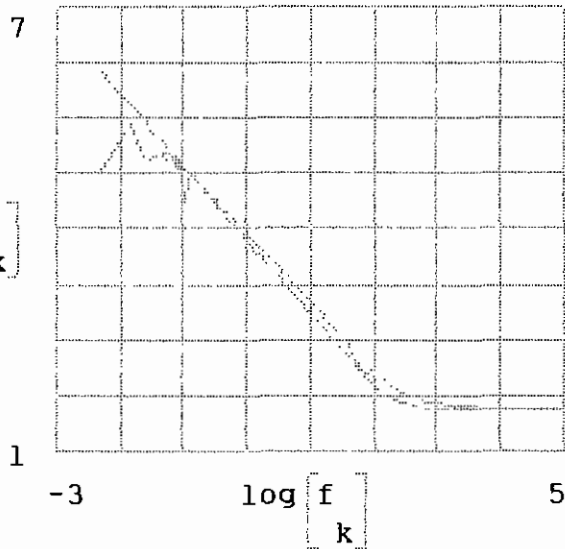
$s(\omega, r_2, r_3, c_1, c_2, c_3, c_4) = 3.163$

$$\text{Var} := \frac{s(\omega, r_2, r_3, c_1, c_2, c_3, c_4)}{62 - 2}$$

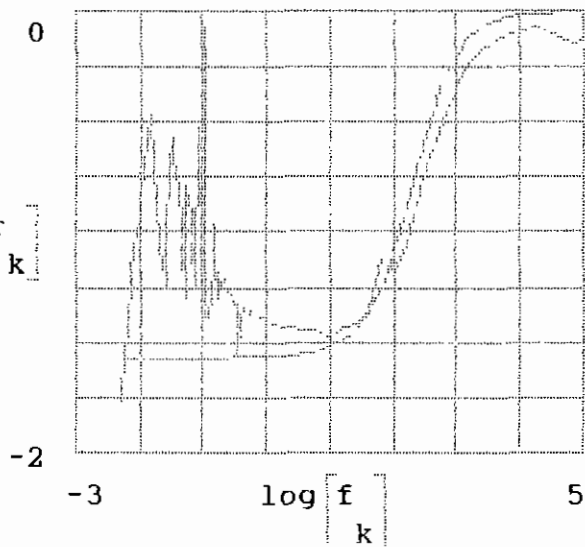
Variance

Var = 0.053

$$\log \left[\left| z_k^{\omega} \right|, r_2, r_3, c_1, c_2, c_3, c_4 \right], \log \left[y_k \right]$$



$$\arg \left[z_k^{\omega}, r_2, r_3, c_1, c_2, c_3, c_4 \right], \arg \left[z_k^r \right]$$



Valeurs trouvees (potentiel de 600mV)

$r_2 = -1.386 \cdot 10^{11}$	ohm	$r_3 = -3.865 \cdot 10^{21}$	ohm
$c_1 = 2.989 \cdot 10^8$	farad/cm ²	$c_3 = -7.996 \cdot 10^{10}$	farad/cm ²
$c_2 = 2.421 \cdot 10^{-5}$	farad/cm ²	$c_4 = -3.088 \cdot 10^9$	farad/cm ²

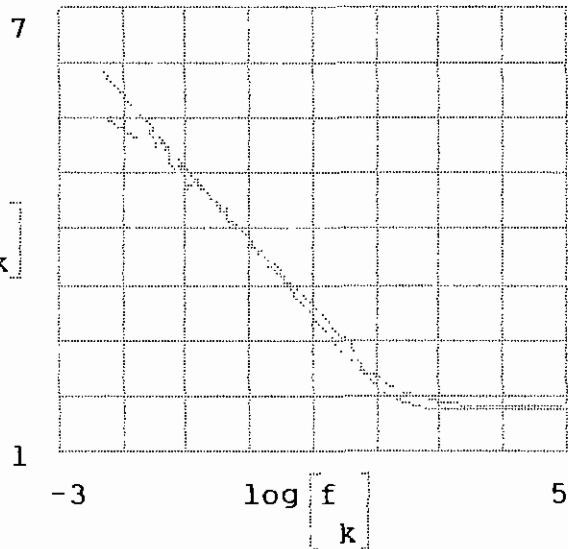
$s(0, r_2, r_3, c_1, c_2, c_3, c_4) = 1.134$

$$\text{Var} := \frac{s(0, r_2, r_3, c_1, c_2, c_3, c_4)}{62 - 2}$$

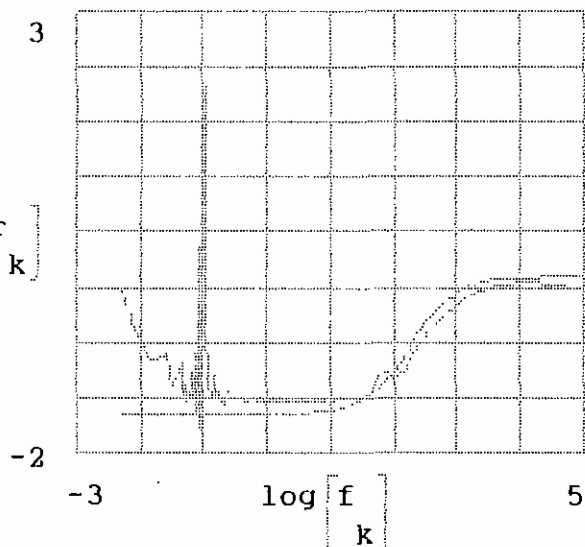
Variance

Var = 0.019

$\log \left[\left| z \left[\begin{matrix} 0 \\ k \end{matrix} \right], r_2, r_3, c_1, c_2, c_3, c_4 \right| \right], \log \left[\left| y \right| \right]$



$\arg \left[z \left[\begin{matrix} 0 \\ k \end{matrix} \right], r_2, r_3, c_1, c_2, c_3, c_4 \right], \arg \left[z_r \right]$



Valeurs trouvees (potentiel de 800mV)

$r_2 = -2.637 \cdot 10^6 \text{ ohm}$ $r_3 = -6.266 \cdot 10^{21} \text{ ohm}$
 $c_1 = 0.7 \text{ farad/cm}^2$ $c_3 = -6.055 \cdot 10^{13} \text{ farad/cm}^2$
 $c_2 = 5.18 \cdot 10^{-5} \text{ farad/cm}^2$ $c_4 = -3.088 \cdot 10^9 \text{ farad/cm}^2$

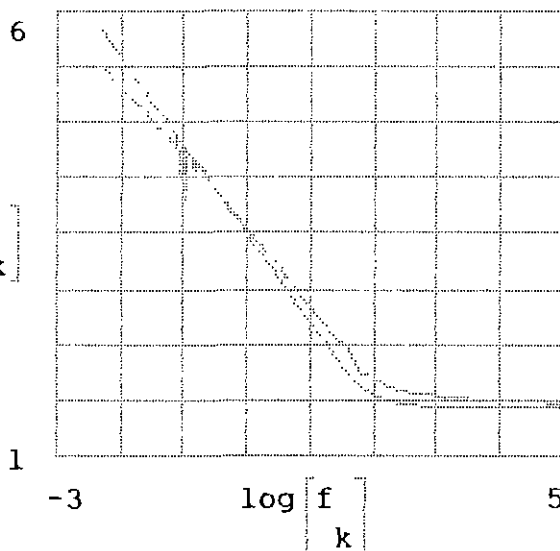
$s(\omega, r_2, r_3, c_1, c_2, c_3, c_4) = 1.484$

$$\text{Var} := \frac{s(\omega, r_2, r_3, c_1, c_2, c_3, c_4)}{62 - 2}$$

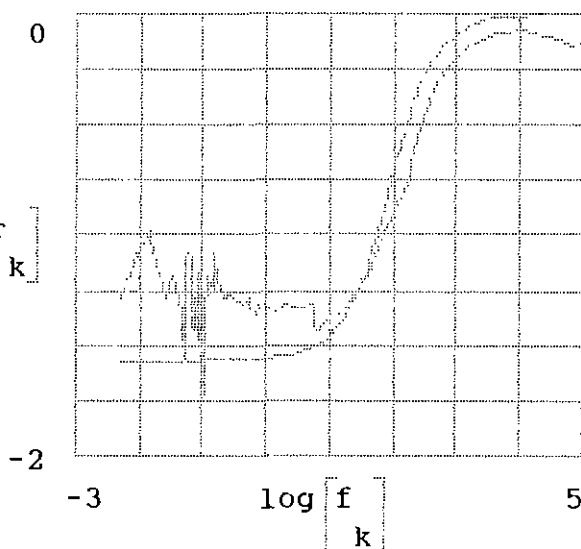
Variance

Var = 0.025

$\log \left[\left| z_k(\omega, r_2, r_3, c_1, c_2, c_3, c_4) \right| \right], \log \left[\left| y_k \right| \right]$



$\arg \left[z_k(\omega, r_2, r_3, c_1, c_2, c_3, c_4) \right], \arg \left[z_r \right]$



CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS

CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS

L'objectif visé à savoir l'identification d'un circuit correspondant à l'interface étudiée est en grande partie atteint grâce à l'utilisation du logiciel Mathcad. Nous ignorons cependant "l'algorithme de lissage" support de ce logiciel. Par ailleurs le circuit retenu a été choisi compte tenu des valeurs de capacité de la double couche qui s'en déduit. On note cependant des valeurs négatives de composantes dont l'explication en électrochimie découle de théories très poussées que nous avons évité de développer dans ce travail.

Il aurait été toutefois souhaitable d'améliorer nos résultats par l'utilisation d'un logiciel approprié d'électrochimie "EQUIVALENT CIRCUIT PAS" disponible en France. Malheureusement malgré nos démarches nous n'avons pas pu entrer en possession de ce dernier.

Somme toute nous ne saurions prétendre avoir trouvé le modèle définitif, car tout système physique de nature chimique, mécanique, électrique ou autre ne pourra jamais être connu de façon tout à fait exacte ; il y aura toujours place à amélioration, à raffinement.

ANNEXES

frequence	Potentiel de 600mV		Potentiel de +300mV		Potentiel de 800mv	
	Re	-Im	Re	-Im	Re	-Im
0.005	323300	58720	-11640	59390	69800	233400
0.015	98360	140400	239000	120800	80280	89420
0.025	137700	160900	25620	73130	21150	71300
0.035	36620	124100	78820	50860	19330	47400
0.045	79260	118900	59840	82820	10290	45280
0.05	14270	90770	24710	88510	96.27	42450
0.055	25540	69100	79520	79110	19040	35730
0.065	13930	66270	65840	84870	15370	29690
0.075	47970	52790	22470	64180	4581	36040
0.085	-8611	71900	63200	56000	6247	19200
0.105	-20800	-29980	22590	1823	-1002	6825
0.125	14450	36570	8589	49120	10400	24980
0.145	9032	46220	22150	51510	5385	15410
0.1501	18300	37130	28450	41060	9411	17050
0.165	7982	35450	11910	42870	8212	15960
0.205	3680	30820	12590	31830	4427	15080
0.235	7363	27160	9454	30820	3495	12220
0.2501	7325	26010	9935	29770	3520	11390
0.295	4448	22650	6540	26200	2904	10090
0.335	4121	20520	6072	24090	2414	8763
0.3502	3165	16820	55.93	21730	2383	8517
0.4151	3941	18880	4807	19420	2015	7486
0.4503	2495	15010	3689	17410	1786	6723
0.4851	2506	14730	3482	17180	1806	6543
0.5503	2259	12610	3147	14740	1674	5793
0.5651	2284	12990	3045	15020	1459	5841
0.6504	1799	10750	2374	12600	1109	5020
0.7504	1589	9446	2093	11090	1069	4388
0.8505	1393	8434	1776	9903	1069	3916
1.051	1062	6942	1362	8169	824.6	3320
1.251	885.1	5875	1104	6953	718.3	2872
1.451	772.9	5129	923	6096	595.3	2586
1.651	666.4	4599	790.8	5404	551.8	2257
2.051	554.5	3756	627.3	4443	474.6	1857
2.351	502.8	3307	538.1	3907	402.7	1678
2.952	413.7	2697	416.5	3172	340.3	1366
3.352	380.9	2382	367.1	2813	305.7	1225
4.152	310.8	1960	294.3	2306	250.5	1010
4.853	282.8	1704	255.4	1997	230.2	880.5
5.653	253.8	1476	222.9	1733	200.7	779.5
6.31	210.1	1347	177.7	1535	83.5	687.3
10	126.4	908.2	98.68	1018	97.49	478.4
15.8	120.8	626.3	95.57	683.8	68.2	303.9
25.1	76.62	376.4	70.23	430.5	64.43	201.4
39.8	68.07	275.5	58.8	274.3	59.79	143.2
63.1	50.35	99.29	49.47	104	40.69	68.71
100	48.83	102.1	44.84	110.9	46.95	56.42
158	38.06	65.46	40.36	69.54	41.43	40.11
251	45.89	44.53	43.56	46.29	46.33	25.84
398	45.76	30.14	43.26	30.91	46.55	17.26
631	44.67	20.45	42.32	20.7	45.98	11.99
1000	43.62	13.85	41.36	13.96	45.15	8.585
1580	42.61	9.514	40.36	9.622	44.22	6.271
2510	41.87	6.708	39.65	6.738	43.52	4.808
3980	41.23	4.935	38.97	4.995	42.8	4.001
6310	40.79	3.806	38.52	3.84	42.28	3.416
10000	40.51	3.126	38.22	3.186	41.74	3.244
15800	40.25	3.148	37.91	2.948	41.17	3.359
25100	40.07	3.681	37.76	3.559	40.85	4.032
39800	39.65	4.713	37.43	4.529	40.3	5.001
63100	38.93	5.655	36.74	5.493	39.5	5.877
100000	38.27	4.828	35.91	4.979	38.44	5.004

TABLEAU DE MESURES D'IMPEDANCE
(VARIATION DE L'IMPEDANCE EN
FONCTION DE LA FREQUENCE)

frequence f	Potentiel de -300mV		Potentiel de -100mV		Potentiel de 0mV	
	Re	-Im	Re	-Im	Re	-Im
0.005	42810	58550	52880	36330	836400	634500
0.015	19890	30360	61050	26910	79280	119400
0.025	10060	22910	31370	25840	77980	169700
0.035	8715	16120	35020	19210	23470	92220
0.045	6811	15110	23380	21360	33000	102300
0.05	390.8	13990	31350	34370	-3308	76640
0.055	7794	11960	31000	28520	30160	57360
0.065	6809	10130	29940	25050	23840	48460
0.075	4792	12200	13850	20140	31510	68680
0.085	4231	7204	26070	12970	10820	39160
0.105	-240.5	2822	7455	1247	-9917	12890
0.125	5860	8331	9041	20550	24970	37460
0.145	3252	5820	14190	15820	11280	31070
0.1501	5118	5338	13270	11640	18100	26010
0.185	3695	5847	10030	16500	13950	29190
0.205	3569	5616	7671	11830	14990	25380
0.235	2686	4980	7378	12690	9017	23820
0.2501	2851	4514	7645	11970	8897	20750
0.295	2183	4175	5973	11150	7573	19880
0.335	1898	3778	5774	10150	6547	17730
0.3502	1898	3489	5719	9489	5868	18210
0.4151	1656	3299	4450	8926	5323	15260
0.4503	1468	2974	4011	8255	4496	13710
0.4851	1452	2910	3986	9124	4701	13450
0.5503	1192	2632	3225	7152	3552	11840
0.5651	1300	2680	3409	7301	3930	12010
0.6504	1139	2263	2837	6416	2978	10120
0.7504	1028	2105	2472	5864	2603	8998
0.8505	908.1	1910	2164	5241	2256	8133
1.051	760.8	1590	1480	3923	1739	6897
1.251	667.7	1421	1252	3526	1450	5945
1.451	602	1289	1086	3180	1229	5272
1.651	536.2	1156	902.9	2691	1064	4689
2.051	483.9	985.2	773.8	2410	871.9	3882
2.351	421	906.3	616.3	2001	728.5	3454
2.952	357.3	759.2	528.4	1808	574.8	28.21
3.352	320.1	688.8	421.1	1502	489.7	25.26
4.152	274	576.6	366.9	1318	388	2071
4.853	249.6	514.9	323.2	1166	340	1803
5.653	225.2	462.7	49.15	53.14	303.7	1583
6.31	191.3	395.9	45.17	35.18	201.9	1438
10	143.8	292.6	43.24	23.5	167.8	934.6
15.8	57.49	144.5	41.98	15.82	112.8	608
25.1	79.4	128.5	40.88	10.87	79.84	392
39.8	48.34	89.81	40.01	7.526	66.28	250.8
63.1	48.97	47.2	39.29	5.412	58.37	160.8
100	53	32.43	38.77	4.03	44.97	107.7
158	51.52	28.19	38.38	3.164	44.91	66.55
251	47.36	20.54	38	2.711	45.06	43.66
398	44.67	14.65	37.84	2.74	43.97	28.95
631	43.04	10.38	37.63	3.359	42.74	19.42
1000	41.81	7.421	37.32	4.339	41.81	13.18
1580	40.84	5.326	36.77	5.718	40.91	9.158
2510	40.18	4.004	35.89	4.891	40.09	6.428
3980	39.62	3.149			39.38	4.791
6310	39.19	2.59			39.12	3.661
10000	38.88	2.438			38.66	3.059
15800	38.85	2.636			38.49	3.033
25100	38.62	3.306			38.32	3.497
39800	38.16	4.281			37.93	4.402

Tableau 1A : $1/c^2 = f(V)$

Référence échantillon = L304/4V/20°		Référence échantillon = L304/8V/20°	
Fréquence = 2000Hz		Fréquence = 2000Hz	
POT.(MV)	1/CAPA^2 (M^4/F^2)	POT.(MV)	1/CAPA^2 (M^4/F^2)
500	143.40060813	800	48.929268187
475	153.64884402	775	54.036107434
450	145.29436054	750	60.50056667
425	152.06371841	725	67.076278265
400	159.00231679	700	71.203977113
375	152.59848449	675	78.322864992
350	157.9005446	650	85.197946678
325	156.89367203	625	91.128079738
300	166.22323889	600	96.816920163
275	163.90671431	575	104.180262159
250	159.96578045	550	109.765014122
225	158.21754412	525	115.483805709
200	154.82719088	500	120.072734458
175	151.16980635	475	123.665155664
150	148.57803339	450	128.328974385
125	144.80474373	425	131.14377185
100	137.91887888	400	135.15778722
75	134.88307115	375	137.96242811
50	128.34700131	350	138.54034141
25	124.074214351	325	139.782904
0	120.032934882	300	139.9349949
-25	120.029332153	275	141.75175894
-50	93.615528222	250	140.54020175
-75	108.606518429	225	143.58342237
-100	101.615948823	200	143.43936194
-125	97.267449711	175	141.78938301
-150	93.01378173	150	144.42370361
-175	86.609162562	125	145.27406801
-200	40.844627876	100	145.83348682
-225	58.511453517	75	148.66832844
-250	58.477410959	50	149.84230065
-175	50.373979304	25	150.03989211
-300	43.040880543	0	153.1889084
-325	31.172096729	-25	148.68411363
-350	25.42790001	-50	150.82447825
-375	12.842774884	-75	148.59679053
-400	13.1062841226	-100	141.9843867
-425	13.5447731483	-125	133.31212195
-450	11.3105917651	-150	125.929406069
-475	13.0384664396	-175	118.986705363
-500	10.2811397114	-200	104.670800476
-475	13.0384664396	-225	93.082246844
-500	10.2811397114	-250	80.198798415
-525	14.7665606243	-275	65.660584923
-550	12.8822968382	-300	52.774269682
-575	13.2227450607	-325	40.340227406
-600	24.640220894	-350	31.186661013
-625	17.297508193	-375	22.990481957
-650	18.940277853	-400	18.272279339
-675	20.733928523	-425	13.7150559377
-700	23.251482119	-450	11.6097171913
-725	26.877258252	-475	9.9844720982
-750	31.767722266	-500	8.1106868396
-775	36.025265679	-525	7.7768110831
-800	41.320491815	-550	7.1361419288
-825	46.293233053	-575	7.1442292183
-850	53.383822829	-600	7.6012815807
-875	60.016109779	-625	8.1953653908
-900	67.579276525	-650	9.7165022035
-925	75.772282647	-675	11.1912353476
-950	85.428803339	-700	13.4208213579
-975	93.416227868	-725	15.5230693145
-1000	101.138308623	-750	18.193284651
		-775	20.844853839
		-800	24.937113142
		-825	27.772007113
		-850	33.810901641
		-875	38.900856063
		-900	45.692036858
		-925	53.048798371
		-850	59.228584598
		-975	68.573638471
		-1000	77.084170491

Tableau 1B : $1/c^2 = I(V)$

Référence échantillon = L304/0V/20°		Référence échantillon = L304/-.3V/20°	
Fréquence = 2000Hz		Fréquence = 2000Hz	
POT.(MV)	1/CAPA ^ 2 (M ^ 4/F ^ 2)	POT.(MV)	1/CAPA ^ 2 (M ^ 4/F ^ 2)
100	94.183795208	-100	52.900982715
75	96.434846799	-125	54.04723754
50	108.97281961	-150	53.621149008
25	96.216406167	-175	53.659942534
0	94.120424039	-200	51.834344928
-25	91.436146733	-225	49.42771981
-50	90.264503208	-250	46.047368223
-75	87.512075193	-275	42.868302111
-100	84.011518662	-300	37.631556731
-125	82.126751692	-325	33.215008714
-150	76.726597249	-350	27.783855797
-175	72.66944564	-375	23.427786854
-200	67.791784001	-400	19.732493482
-225	63.345320134	-425	16.82393125
-250	57.647206729	-450	14.5551511799
-275	50.178237689	-475	13.626768824
-300	43.815117025	-500	13.4430588058
-325	36.228326507	-525	13.4958618468
-350	29.538583885	-550	14.5901609191
-375	24.345496448	-575	12.5920550721
-400	19.154177439	-600	17.933062563
-425	15.9691120579	-575	16.333457652
-450	13.6766640301	-600	17.933062563
-475	12.2762507201	-625	19.989581268
-500	11.1902817782	-650	21.901076267
-525	11.3390277711	-675	25.013172703
-550	11.6612113756	-700	27.687209666
-575	12.0139218773	-725	30.22343372
-600	13.7423002139	-750	34.093077112
-625	15.6476214548	-775	38.008498589
-650	18.780973725	-800	41.808403435
-675	22.038869817	-825	45.442589801
-700	24.167940537	-850	49.42902783
-725	28.172176339	-875	53.534497653
-750	31.585688032	-900	58.055920742
-775	36.197315877	-925	62.137350169
-800	40.208265806	-950	65.989718194
-825	45.337692597	-975	68.623955187
-850	49.361477052	-1000	67.252069429
-875	54.925132677		
-900	60.768928128		
-925	66.755323251		
-950	72.383028266		
-975	76.880510745		
-1000	81.939213832		

MESURES D'IMPEDANCES

(Circuit RC serie)

REFERENCE ECHANTILLON=L304/.6V/20DEG

FREQUENCE=2000Hz

CONSTANT DIELECTRIQUE= 12 F/M

SURFACE ECHANTILLON= 1E-04 M2

POT. (MV)	RESIST. (OHM)	CAPA (F/M^2)	1/(CAPA^2) (M^4/F^2)
800	37.76805	.166250685	36.1803792
775	38.6055237	.156032092	41.0744861
750	36.2071995	.173515599	33.2141353
725	37.6037442	.142798192	49.0404656
700	37.9209	.132538402	56.9267693
675	38.0200308	.124272626	64.7513928
650	38.2869779	.115967624	74.357791
625	38.2738868	.110197025	82.3493663
600	38.1397121	.105818922	89.3044977
575	38.3761638	.101085085	97.8644345
550	38.4971321	.0976735295	106.0207501
525	38.4000738	.0950570061	114.4237340
500	38.4055242	.0922421886	122.9527802
475	38.4029478	.0904409946	127.359158
450	38.3847027	.0884350465	127.861883
425	38.3741432	.0878305549	139.630963
400	38.3834604	.0865695807	133.434281
375	38.3614152	.0855709101	136.567054
350	38.3463759	.0852988429	137.447111
325	38.3195903	.0843053070	142.490124
300	38.308882	.0845868134	139.264791
275	38.3185993	.0843053071	140.598134
250	38.3159231	.084456955	139.093714
225	38.3153802	.0848507073	138.385211

Am =

575	38.3751628	.107145008	97.56746395
550	38.4001321	.0976735299	104.820501
525	38.4000738	.0950570061	110.670465
500	38.4085242	.0922421888	117.527852
475	38.4029478	.0904409965	122.255758
450	38.3847027	.0884350465	127.864853
425	38.3741432	.0878305549	129.630963
400	38.3834604	.0865695807	133.434881
375	38.3814152	.0855709141	136.567594
350	38.3663759	.0852988429	137.440181
325	38.3195903	.0843053074	140.698726
300	38.328282	.0845868134	139.763791
275	38.3195903	.0843053074	140.698726
250	38.3459083	.084456955	140.193914
225	38.3433952	.0848527075	138.889236
200	38.3617503	.0851015841	138.078071
175	38.3420176	.0857451256	136.013219
150	38.3208308	.0861732731	134.665027
125	38.3224336	.0867884334	132.762769
100	38.2807393	.0878961466	127.437563
75	38.2381375	.0885020997	127.671174
50	38.1522286	.0896077597	124.539971
25	37.9590469	.0916299548	119.103646
0	38.1574424	.0930334079	115.53728
-25	37.9871084	.0952346733	110.257923
-50	37.8923528	.0997101319	100.582257
-75	37.6030573	.104307589	91.9111475
-100	37.5981283	.108807085	84.4667242
-125	37.4318243	.114954051	75.674827
-150	37.2464474	.122761767	66.3550125
-175	37.0432317	.131060368	58.2179936
-200	36.8665146	.14196837	49.6154352
-225	36.6774045	.153513358	42.4333831

page 2.

9.50 30.528 1625 35.635

MESURES D'IMPEDANCES

(Circuit RC serie)

REFERENCE ECHANTILLON=L304/.6V/20DEG

FREQUENCE=2000Hz

CONSTANT DIELECTRIQUE= 12 F/M

SURFACE ECHANTILLON= 1E-04 M2

POT. (MV)	RESIST. (OHM)	CAPA (F/M^2)	1/(CAPA^2) (M^4/F^2)
800	37.76805	.166250685	36.1803792
775	38.6055237	.156032092	41.0744861
750	36.2071995	.173515599	33.2141353
725	37.6037442	.142798192	49.0404656
700	37.9209	.132538402	56.9267693
675	38.0200308	.124272626	64.7513828
650	38.2869779	.115967624	74.357791
625	38.2738868	.110197025	82.3493663
600	38.1397121	.105818922	89.3044977
575	38.3761638	.101085085	97.8646395
550	38.4201321	.0976735299	104.2207501
525	38.4000738	.0950570061	110.575365
500	39.0085242	.0922421886	117.1527352
475	38.4029478	.0904409965	122.7253758
450	38.3847027	.0884350465	127.863853
425	38.3741432	.0878305549	132.630963
400	38.3834604	.0865695807	133.434281
375	38.3514152	.0855709141	136.567354
350	39.3663759	.0852988429	137.447111
325	38.3195903	.0843053074	140.140726
300	38.328382	.0845868134	139.157791
275	38.3155993	.0843053074	140.140726
250	38.3457285	.084456953	139.173714
225	38.3433892	.0848587073	138.285711

Am =

800 ← E (mV)

775
750
725
700
675
650
625
600
575
550
525
500
475
450
425
400
375
350
325
300
275
250
225
200
175
150
125
100
75
50
25
0
-25
-50
-75
-100
-125
-150
-175
-200
-225
-250
-275
-300
-325
-350
-375
-400
-425
-450
-475
-500
-525
-550
-575
-600
-625
-650
-675
-700
-725
-750
-775
-800
-825
-850
-875
-900
-925

37.76000
38.6055237
36.2071995
37.6037442
37.9209
38.0200308
38.2869779
38.2738868
38.1397121
38.3761628
38.4001321
38.4000738
38.4085242
38.4029478
38.3947027
38.3741432
38.3834604
38.3814152
38.3663759
38.3195903
38.328282
38.3195903
38.3459083
38.3433952
38.3617503
38.3420176
38.3208308
38.3224336
38.2807393
38.2381375
38.1522286
37.9590469
38.1574424
37.9871084
37.8923528
37.6030573
37.5981283
37.4318243
37.2464474
37.0432317
36.8665146
36.6774045
36.5284105
36.4087492
36.3289235
36.1491302
35.9907667
35.7347277
35.7624052
35.6427933
35.4520922
35.4845166
35.418261
35.5268116
35.4029037
35.4733188
35.4333175
35.3608858
35.6309957
35.522643
35.5373108
35.7520565
35.8243059
35.9377397
36.073612
36.1255738
36.3094675
36.4998624
36.6038537
36.7672737

← Z'

4.78902290
5.10265763
4.58851162
5.57554921
6.00715212
6.40670732
6.86552259
7.22504392
7.52396951
7.87631835
8.15142388
8.37579866
8.63139041
8.80329027
9.00297309
9.06493583
9.19697586
9.30431038
9.33398762
9.44398839
9.41255868
9.44398839
9.42703113
9.38306351
9.35562308
9.28540647
9.2392724
9.17378402
9.05817121
8.99615203
8.88514953
8.68906185
8.55798322
8.360173
7.9849292
7.63298501
7.31733918
6.92605728
6.49555622
6.07489783
5.60813892
5.18637828
4.75205765
4.33418039
3.95979194
3.4734333
3.03917664
2.61485163
2.33695436
2.05261851
1.84819032
1.72044174
1.64504713
1.61613444
1.64316014
1.6675731
1.73606365
1.8625706
1.96496874
2.12312651
2.23282371
2.42464792
2.6133679
2.88421244
3.12339313
3.37401388
3.76334588
4.13290453
4.49764987
4.97555396

← Z''

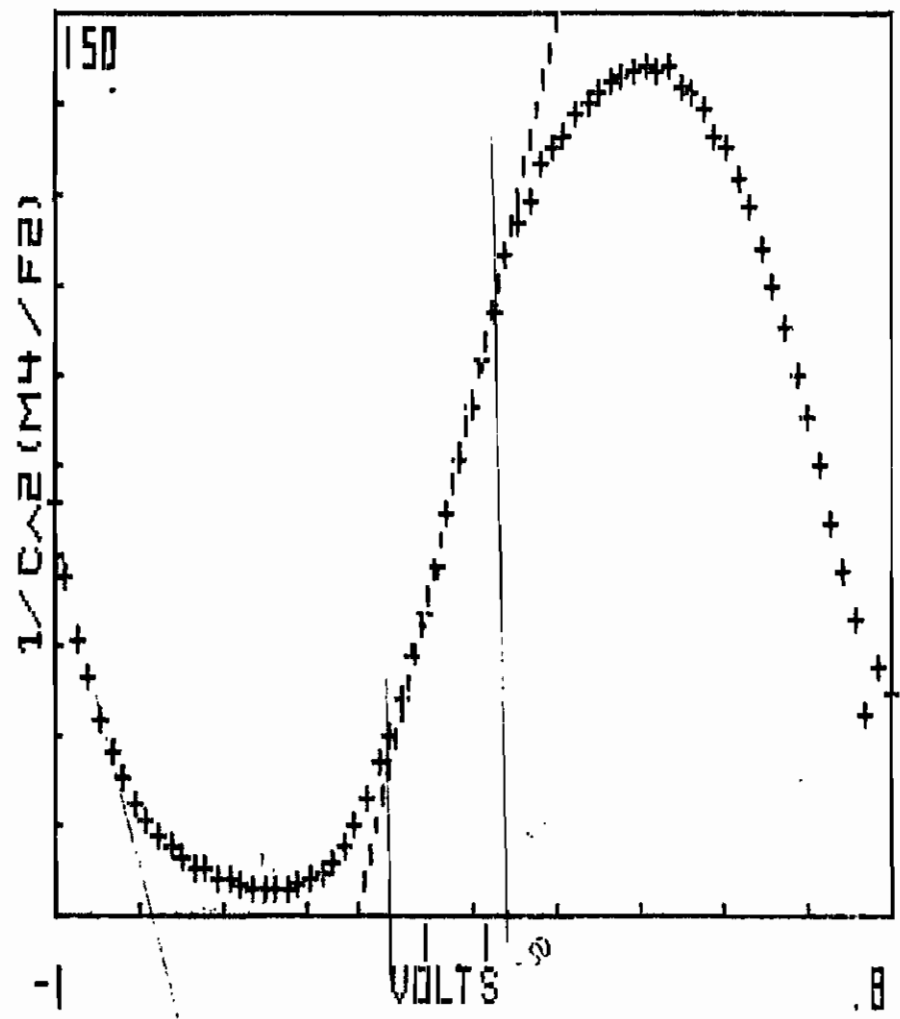
log 4

page 5.

-875
-900
-925
-950
-975
-1000

36.4998624
36.6038637
36.7672737
37.0483391
37.21339
37.3237044

4.13290653
4.49764987
4.97555396
5.3795222
5.94655998
6.60477733



VALEUR ORIGINE DES POTENIELS (mV) = -1000
 VALEUR MAX DES POTENIELS (mV) = 800
 VALEUR ORIGINE DE 1/(CAPA^2) (M^4/F^2) = 0
 VALEUR MAX DE 1/(CAPA^2) (M^4/F^2) = 150

POT. BANDE PLATE/ECS (V) = -.345015585
 TAUX DE DOPANT (AT./M^3) = 3.43229393E+26

MESURES D'IMPEDANCES

(Circuit RC serie)

- REFERENCE ECHANTILLON = L304 / .5V / 20 DEG
- FREQUENCE = 2000 Hz
- CONSTANT DIELECTRIQUE = 12 F/M
- SURFACE ECHANTILLON = 1.26E-04 M2

POT. (MV) RESIST. (OHM) CAPA (F/M^2) 1/(CAPA^2) (M^4/F^2)

600 36.4120301 36.51471700 4.13290653

POT. (MV)	RESIST. (OHM)	CAPA (F/M ²)	LZ (CAPA * 2) (H/4ZP * 2)
600	39.4122341	.0851071282	138.060082
575	39.3802555	.082812749	145.81614
550	39.4169251	.0811192963	151.967826
525	39.2578604	.087208828	131.485875
500	39.1556841	.0866315908	133.243926
475	39.2891176	.0857213881	136.088557
450	39.1084608	.0853930343	137.137146
425	39.2814047	.084871858	138.826566
400	39.1023192	.0851997614	137.760034
375	39.1802667	.0852953233	137.45088
350	39.1253024	.0856447683	136.332162
325	39.2599504	.0854008269	137.112121
300	39.242497	.0796779433	157.515672
275	39.1502971	.0792182849	159.348922
250	39.0570631	.0817640539	149.580564
225	39.1838096	.082006592	148.697091
200	39.0431253	.0834180335	143.707722
175	39.1687989	.0845251713	139.967718
150	39.14802	.0850595506	138.214571
125	39.096784	.0864815445	133.786686
100	39.0859376	.087839103	129.605734
75	38.9177445	.0891806456	125.73575
50	39.0129368	.0911838942	120.271777
25	39.0201636	.0925424533	116.766425
0	38.8708711	.0935415957	114.285321
-25	38.8838922	.0952741061	110.166673
-50	38.8390468	.0976222828	104.930582
-75	38.7614643	.099216516	101.585578
-100	38.7973754	.101088776	97.8575022
-125	38.6707997	.104097153	92.2831254
-150	38.624117	.106699132	87.8371476
175	38.618	.1098	82.918
-175		35.4277124	4.59000125
-200		35.1383248	4.0133885
-225		35.0182042	3.52921304

page 6

10ye 7

-200	38.5282976	.115421478	75.0631418
-225	38.4965093	.120666137	68.6798252
x -250	38.3939185	.127806131	61.2204648
-275	38.3752739	.138921495	51.9156683
x -300	38.2763583	.150158443	44.350701
-325	38.287168	.166618264	36.0209191
x -350	38.129062	.188952033	28.0089521
-375	38.017415	.213864717	21.8636022
-400	37.9494774	.237602707	17.7132083
-425	37.8139243	.263346652	14.4193073
-450	37.7527026	.288455674	12.0162665
-475	37.7075398	.312220412	10.2583077
-500	37.5644208	.319493819	9.79659329
-525	37.6307884	.322262371	9.62899143
-550	37.7546448	.331074116	9.12320931
-575	37.6525941	.325704125	9.42656533
-600	37.6900445	.322074677	9.64021754
-625	37.7409303	.299841523	11.1228595
-650	37.7460116	.280889235	13.6744701
-675	37.8459126	.254356466	15.1566166
-700	37.9447915	.234034181	18.2575045
-725	38.0162318	.215207047	21.5917093
-750	38.0666889	.198975026	25.2582268
-775	38.2038976	.186981023	28.6025621
-800	38.2609987	.17247126	33.6175862
-825	38.3906744	.161347365	38.4128249
-850	38.4684725	.150882092	43.9262984
-875	38.5429139	.142156444	49.484239
-900	38.628773	.13272979	56.7627183
-925	38.6718403	.124890303	64.112678
-950	38.8255016	.11857658	71.1217051
-975	38.9698194	.112118214	79.5513696
-1000	39.1109899	.10623783	88.6016101

POTENTIEL (mV)

IMPEDANCE REELLE

IMPEDANCE IMAGINAIRE

log 8.

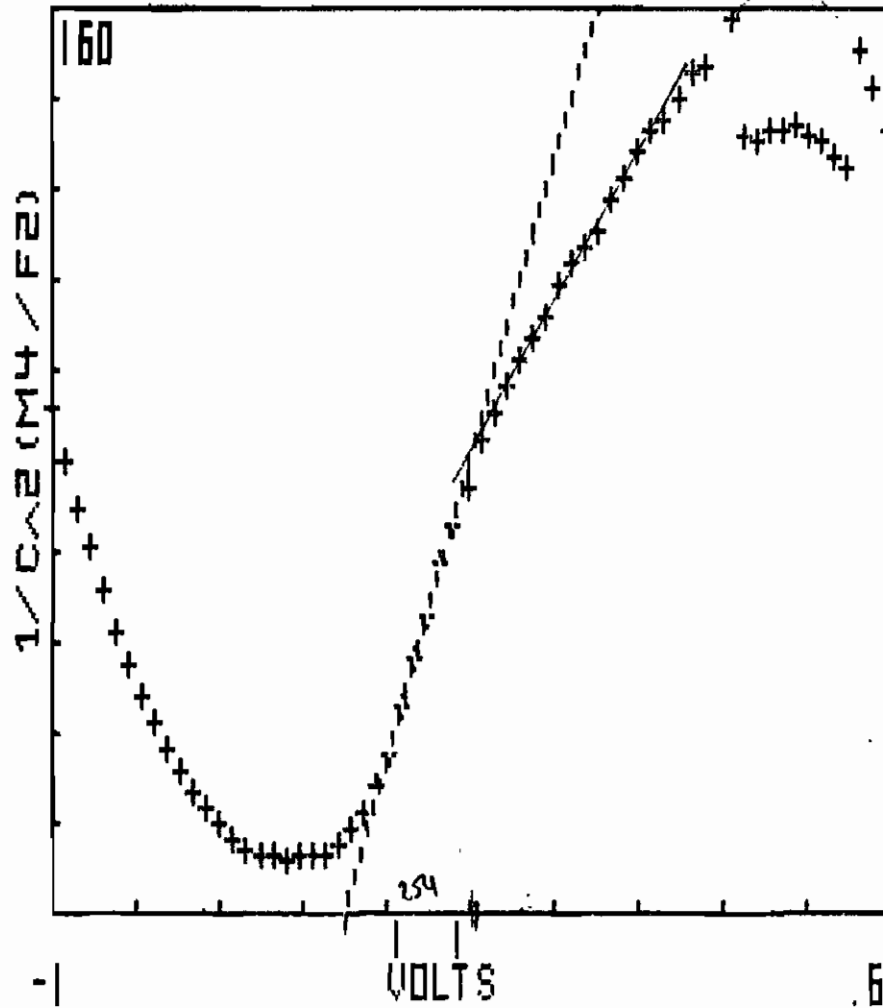
600	39.4122341	7.42461399
575	39.3802555	7.63031758
550	39.4169251	7.78960868
525	39.2578604	7.2456836
500	39.1556841	7.2930625
475	39.2891176	7.3714109
450	39.1084608	7.3997555
425	39.2814047	7.44519549
400	39.1023192	7.4165416
375	39.1802667	7.40821499
350	39.1253024	7.37800554
325	39.2599504	7.39908028
300	39.242497	7.93052065
275	39.1502971	7.97653693
250	39.0570631	7.72818304
225	39.1838096	7.70532661
200	39.0431253	7.57495171
175	39.1687989	7.47573256
150	39.14802	7.4287669
125	39.096784	7.30661759
100	39.0859376	7.1936934
75	38.9177445	7.08547881
50	39.0129368	6.92981563
25	39.0201636	6.82909324
0	38.8708711	6.7551507
-25	38.8838922	6.63231176
-50	38.8390468	6.47278015
-75	38.7614643	6.36877407
-100	38.7973754	6.25081836
-125	38.6707997	6.07017152
-150	38.624117	5.92214352
-175	38.6489088	5.75391228
-200	38.5282976	5.47460998
-225	38.4965093	5.23646035
-250	38.3939185	4.94411002
-275	38.3752739	4.54852271
-300	38.2763583	4.20813084
-325	38.287168	3.79242685
-350	38.129062	3.34416923
-375	38.017415	2.95461348
-400	37.9494774	2.65942919
-425	37.8139243	2.39945171
-450	37.7527026	2.19058813
-475	37.7075398	2.02385094
-500	37.5644208	1.97777715
-525	37.6307884	1.96073609
-550	37.7546448	1.90859854
-575	37.6525941	1.94006623
-600	37.6900445	1.96192877
-625	37.7409303	2.10740517
-650	37.7460116	2.24959698
-675	37.8459126	2.48428992
-700	37.9447915	2.69997935
-725	38.0162318	2.93618044
-750	38.0666889	3.17571099
-775	38.2038976	3.37942089
-800	38.2609987	3.66372678
-825	38.3906744	3.91631791
-850	38.4684725	4.16795609
-875	38.5429139	4.44501534
-900	38.628773	4.7607065
-925	38.6718403	5.05954074
-950	38.8255016	5.3289423
-975	38.9698194	5.63990477
-1000	39.1100000	5.99999999

-925
-950
-975
-1000

38.6718403
38.8255016
38.9698194
39.1109899

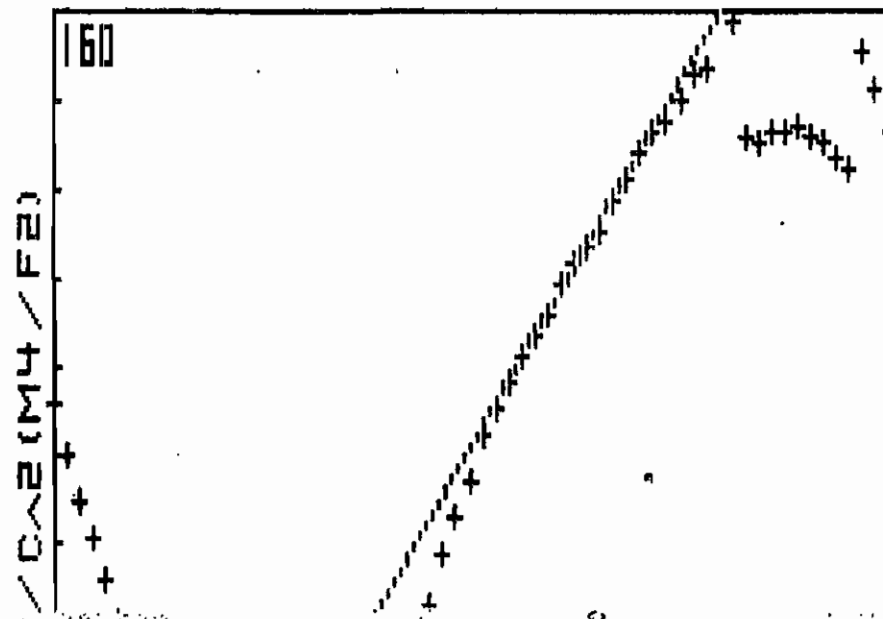
5.05954074
5.3289409
5.63590477
5.94785843

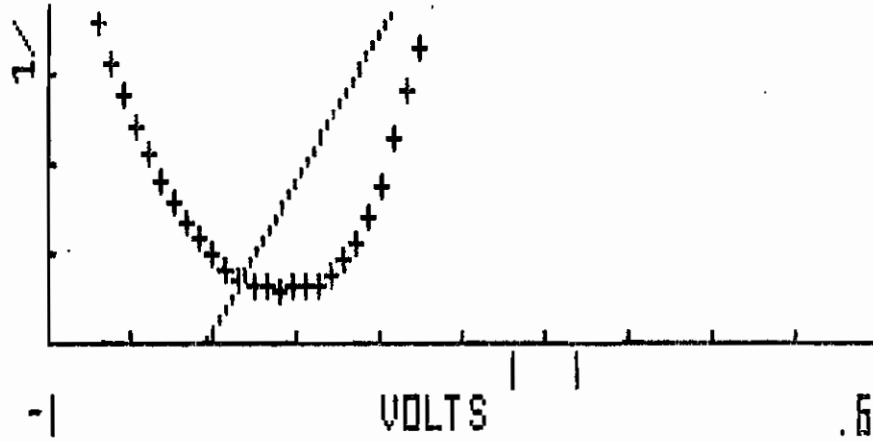
page 9



VALEUR ORIGINE DES POTENTIELS (mV) = -1000
 VALEUR MAX DES POTENTIELS (mV) = 600
 VALEUR ORIGINE DE $1/(C \Delta F^2)$ (M^4/F^2) = 0
 VALEUR MAX DE $1/(C \Delta F^2)$ (M^4/F^2) = 160

POT. BANDE PLATE/ECS (V) = -.434444767
 TAUX DE DOPANT (AT./M^3) = 3.57414119E+26





page 10.

VALEUR ORIGINE DES POTENTIELS (mV) = -1000
 VALEUR MAX DES POTENTIELS (mV) = 600
 VALEUR ORIGINE DE $1/(CAPA^2)$ (M⁴/F²) = 0
 VALEUR MAX DE $1/(CAPA^2)$ (M⁴/F²) = 160

POT. BANDE PLATE/ECS (V) = -.688112155
 TAUX DE DOPANT (AT./M³) = 7.08912073E+26

MESURES D'IMPEDANCES

(Circuit RC serie)

REFERENCE ECHANTILLON = 1.304 / .4V / 20DEG
 FREQUENCE = 2000Hz
 CONSTANT DIELECTRIQUE = 12 F/M
 SURFACE ECHANTILLON = 1.26E-04 M2

POT. (MV)	RESIST. (OHM)	CAPA (F/M ²)	$1/(CAPA^2)$ (M ⁴ /F ²)
↓ 500	36.240911	.0835073118	143.400608
25 475	36.7798828	.0806743698	153.648944
450	35.8286873	.0829613130	145.29436
425	36.0213974	.0810937152	152.063718
400	36.578413	.0793045809	159.002317
375	35.8761693	.080951498	152.598484
350	36.0110963	.079580779	157.900544
325	35.8721294	.079835651	156.893972
300	33.9468134	.0775629163	166.223239

	33.8110923	.079580779	157.900544
325	33.8721294	.079835651	156.893972
300	33.9468134	.0775629163	166.223239
275	33.9450293	.0781093372	163.905714
250	33.8043095	.0790653969	159.96578
225	33.884662	.0795010163	158.217544
200	33.9800116	.0803408046	154.927191
175	33.7472723	.0813331276	151.169805
150	33.86773	.0820391658	148.579033
125	33.9123014	.0831014507	144.804744
100	33.7750641	.0851513014	137.916879
75	33.9260151	.0860716934	134.983071
50	33.511384	.0882687826	128.347001
25	33.7123282	.0897757895	124.074214
0	33.6309057	.0912745683	120.032935
-25	34.0996124	.0912759381	120.029332
-50	22.1846563	.103353706	93.6155289
-75	33.483697	.0968518944	106.606519
-100	33.4681643	.0992016879	101.615949
-125	33.4236295	.101394929	97.2674505
-150	33.4352446	.103687487	93.0137008
-175	33.4539612	.107452885	86.609162
-200	28.6647945	.156855021	40.6446279
-225	31.719378	.130731293	58.5114533
-250	32.8759039	.13076934	58.4774109
-275	32.9658644	.140895558	50.3738794
-300	33.1863095	.152426131	43.0408805
-325	32.6960099	.179108831	31.1720957
-350	33.0597771	.198310063	25.4279001
-375	31.1589462	.277962559	12.9427749
-400	31.7307648	.276223448	13.1062641
-425	32.1694713	.271715324	13.5447731
-450	31.1862032	.297342738	11.3105918
-475	33.076951	.276940673	13.0304665
-500	31.3903021	.311874143	10.2811377

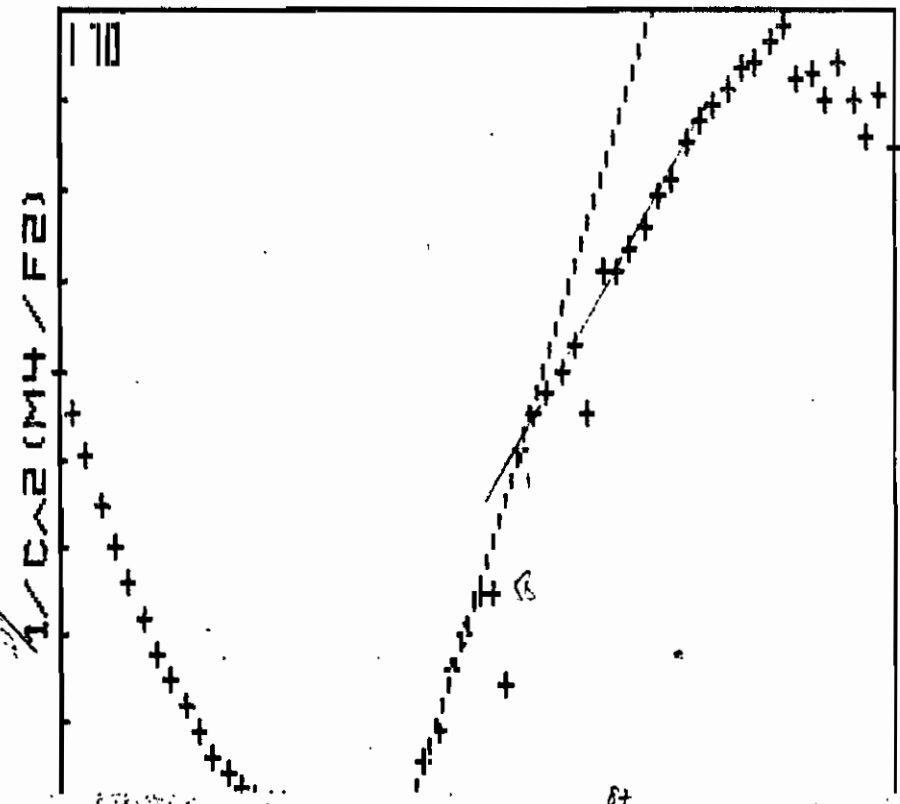
page 11

page 12

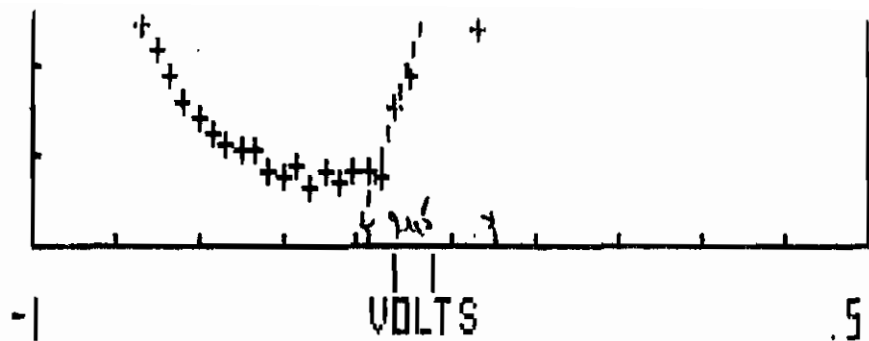
-475	33.076954	.276940678	13.0304665
-500	31.3903021	.311874143	10.2811397
-525	35.19119	.260320023	14.7565506
-550	32.3988302	.278506192	12.8922966
-575	31.7873412	.275004112	13.222745
-600	32.3993188	.241454838	17.1525295
-625	32.2693897	.240440835	17.2975081
-650	32.4305935	.229777144	18.9402779
-675	32.4479105	.219613585	20.7339285
-700	32.5183443	.207383729	23.2514821
-725	32.5966914	.192889025	26.8772582
-750	32.7394829	.177421792	31.7677221
-775	32.7570525	.166608142	36.0252959
-800	33.0011106	.155566922	41.3204917
-825	33.0570609	.146974247	46.293233
-850	33.1748327	.136865871	53.3838224
-875	33.1915083	.129082117	60.0161097
-900	33.4163113	.121644711	67.5792767
-925	33.4587198	.114880095	75.772292
-950	33.6990561	.10819267	85.4288026
-975	33.6606532	.103463898	93.4162275
-1000	33.7972236	.0994356591	101.138309

POTENTIEL (mV)	IMPEDANCE REELLE	IMPEDANCE IMAGINAIRE
500	36.240911	7.56685326
475	36.7798628	7.83257578
450	35.8286873	7.61665342
425	36.0213974	7.79206592
400	36.578413	7.9678572
375	35.8761693	7.80575518
350	36.0110963	7.94020344
325	35.8721294	7.91485467
300	33.9458134	8.14677431
275	33.9450293	8.08978292
250	33.8043095	7.99196109
225	33.884662	7.94816977
200	33.9800116	7.86508896
175	33.7472723	7.76912918
150	33.86773	7.70226718
125	33.9123014	7.60380919
100	33.7750641	7.42076239
75	33.9260151	7.34140982
50	33.511384	7.15867554
25	33.7123282	7.03850758
0	33.6309057	6.9229314
-25	34.0996124	6.9228275

50	33.511384	2.10067111
25	33.7123282	7.03850758
0	33.6309057	6.9229314
-25	34.0996124	6.9228275
-50	22.1846563	6.1138357
-75	33.483697	6.52426655
-100	33.4681643	6.36972604
-125	33.4236295	6.23194457
-150	33.4352446	6.09415456
-175	33.4539612	5.88060127
-200	28.6647945	4.02848166
-225	31.719378	4.8334837
-250	32.8759039	4.83207741
-275	32.9658644	4.48479415
-300	33.1863095	4.14553312
-325	32.6960099	3.52795321
-350	33.0599771	3.18636163
-375	31.1589462	2.27328305
-400	31.7307648	2.28759571
-425	32.1694713	2.32555001
-450	31.1862032	2.12511521
-475	33.076954	2.28167126
-500	31.3903021	2.02609799
-525	35.19119	2.4273491
-550	32.3988302	2.26884569
-575	31.7873412	2.25773864
-600	32.3993188	2.61700109
-625	32.2693897	2.62803768
-650	32.4305935	2.75000127
-675	32.4479105	2.87726797
-700	32.5183443	3.04694866
-725	32.5966914	3.27591253
-750	32.7394829	3.56149922
-775	32.7570525	3.79265723
-800	33.0011106	4.06183761
-825	33.0570609	4.29930812
-850	33.1748327	4.61683814
-875	33.1915083	4.89523716
-900	33.4163113	5.1945339
-925	33.4587198	5.50040955
-950	33.6990561	5.8403917
-975	33.6606532	6.10732425
-1000	33.7972236	6.35473813

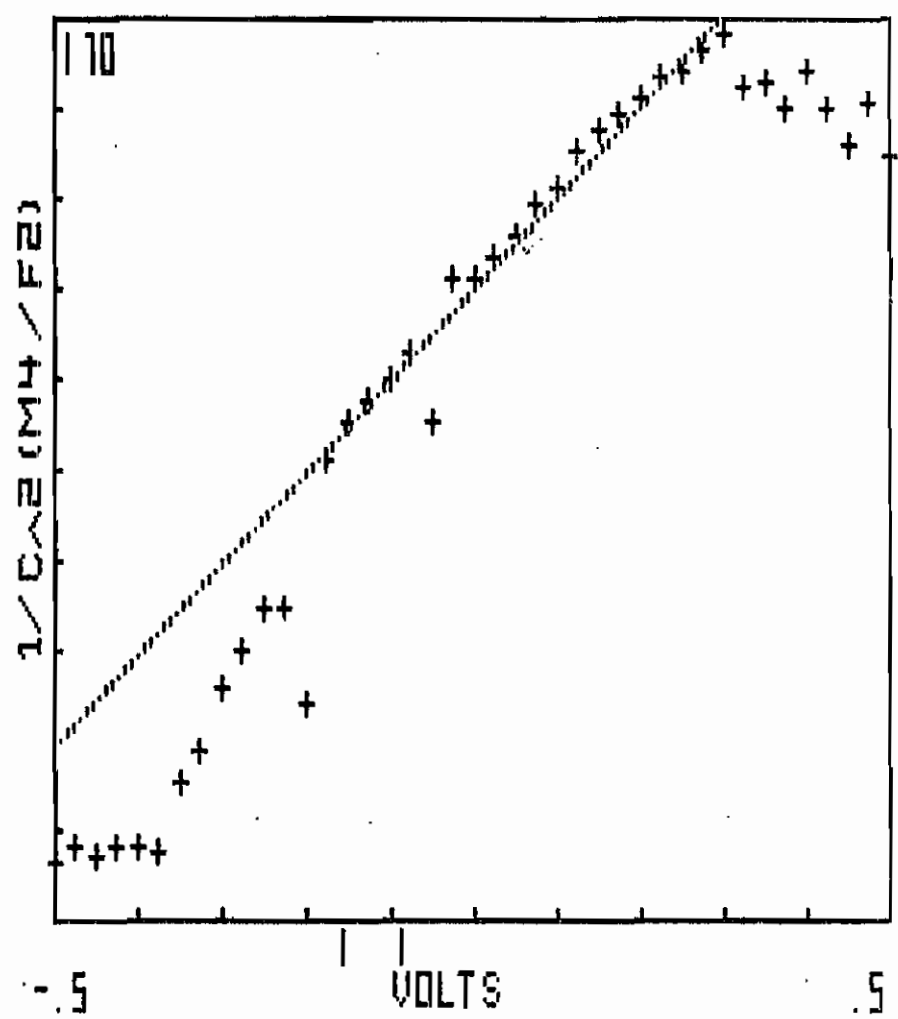


10-28 14



VALEUR ORIGINE DES POTENTIELS (mV) = -1000
 VALEUR MAX DES POTENTIELS (mV) = 500
 VALEUR ORIGINE DE $1/(C*PA^2) (M^4/F^2) = 0$
 VALEUR MAX DE $1/(C*PA^2) (M^4/F^2) = 170$

POT. BANDE PLATE/ECS (V) = -.419287352
 TAUX DE DOPANT (AT./M^3) = 3.3356081E+26



VALEUR ORIGINE DES POTENTIELS (mV) = -500
 VALEUR MAX DES POTENTIELS (mV) = 500
 VALEUR ORIGINE DE $1/(C*PA^2) (M^4/F^2) = 0$
 VALEUR MAX DE $1/(C*PA^2) (M^4/F^2) = 170$

POT. BANDE PLATE/ECS (V) = -.690549631
 TAUX DE DOPANT (AT./M^3) = 6.82967355E+26

page 15

MESURES D'IMPEDANCES

(Circuit RC serie)

REFERENCE ECHANTILLON=L304/.3V/20DEG

FREQUENCE=2000Hz

CONSTANT DIELECTRIQUE= 12 F/M

SURFACE ECHANTILLON= 1.26E-04 M2

POT. (MV)	RESIST. (OHM)	CAPA (F/M^2)	1/(CAPA^2) (M^4/F^2)
400	35.6018225	.0846728074	139.480046
375	35.6001184	.0851958913	137.77255
350	35.5844188	.0844441698	140.236369
325	35.595412	.0842318431	140.944259
300	35.5903685	.0831396316	144.671774
275	35.5701105	.0836744869	142.828174
250	35.563743	.0816027675	139.711083
225	35.5056426	.0845736394	139.807336
200	35.5261717	.0859441336	135.384057
175	35.4946523	.0872520949	131.355503
150	35.4199797	.0888496244	126.674386
125	35.5376443	.0891679176	125.771648
100	35.4698396	.0907350302	121.464684
75	35.4190955	.0924880901	116.903732
50	35.4045283	.0939301843	113.341681
25	35.4588512	.0955547453	109.520516
0	35.4604051	.0972574092	105.71938
-25	35.415242	.0994746259	101.059087
-50	35.3143116	.101631317	96.8155009
-75	35.3506656	.103687033	93.0145971
-100	35.2285903	.10665254	87.9139088
-125	35.268274	.10881007	84.4620886
-150	35.1348051	.112761323	78.6465499

-125	35.268274	.10831907	84.4626036
-150	35.1348051	.112761323	78.6465499
-175	35.089177	.11573783	74.6533545
-200	35.0510999	.120416538	68.9648388
-225	35.0032835	.125989116	62.9990418
-250	34.8820256	.133236175	56.3320671
-275	34.8960394	.141173519	50.1757091
-300	34.8876424	.153171485	42.6230137
-325	34.8981162	.165617387	36.4576058
-350	34.7325854	.191430555	27.2883629
-375	34.5989859	.216249906	21.3839606
-400	34.4917595	.234354789	18.2075845
-425	34.4246019	.258148607	15.005844
-450	34.4055571	.273471136	13.371404
-475	34.3854697	.290676363	11.8353353
-500	34.2480984	.303892666	10.8282821
-525	34.2919124	.301184117	11.0239153
-550	34.2369575	.299739465	11.1304351
-575	34.2631497	.287634132	12.0870177
-600	34.3167733	.272735788	13.443605
-625	34.4164868	.255814287	15.2809519
-650	34.5188404	.227353635	19.3462233
-675	34.6175549	.199714478	25.0715338
-700	34.7303503	.183074929	29.8361137
-725	34.792608	.166693773	35.988293
-750	34.7832519	.156134302	41.0207263
-775	34.9802536	.144947459	47.596913
-800	36.0576625	.130351227	58.8531555
-825	35.1025757	.14926737	44.8817972
-850	35.0955455	.141299769	50.0860865
-875	35.2434613	.133380259	56.2104277
-900	35.3184717	.127562167	61.4548584
-925	35.3771854	.120440992	68.9368365
-950	35.4515636	.114705173	76.0035703
-975	35.482266	.108878446	84.3560385

page 16

$$y = 1.7157 x^{-0.48} \quad f = 0.9999$$

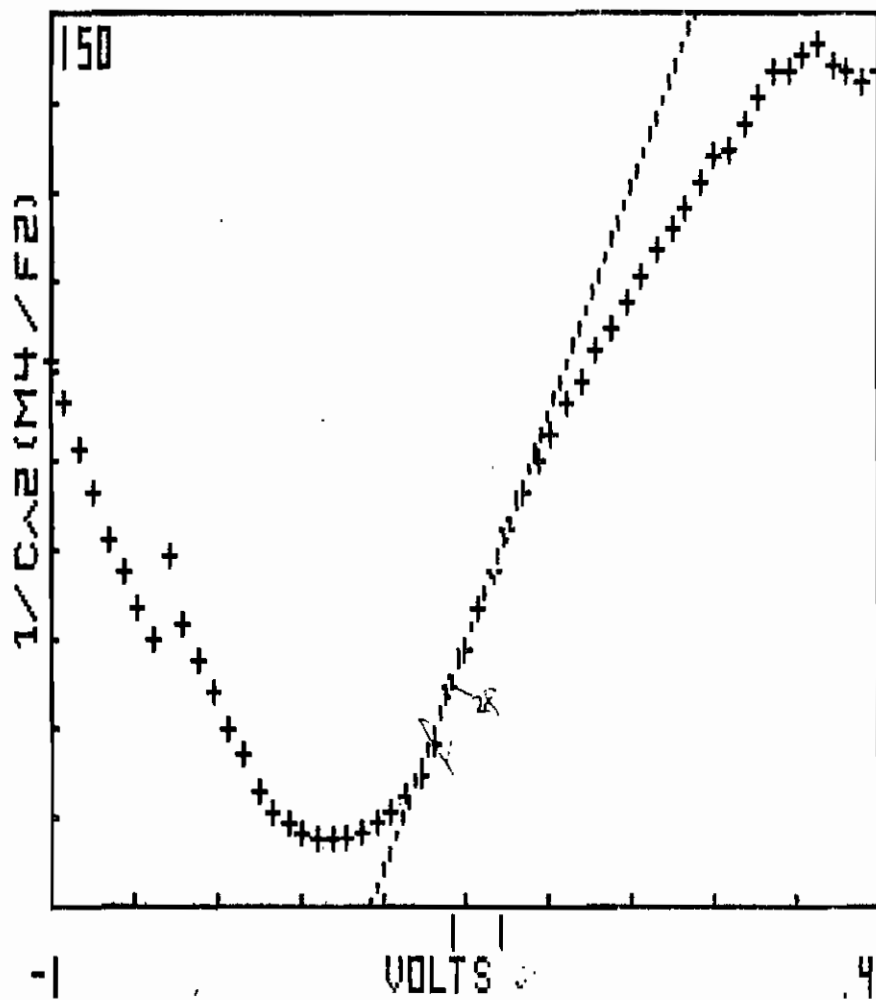
— <

-950	33.4515636	.114703173	76.0030703
-975	35.482266	.108878446	84.3560385
-1000	35.6153324	.104448578	91.6631837

page 17

POTENTIEL (mV)	IMPEDANCE REELLE	IMPEDANCE IMAGINAIRE
400	35.6018225	7.46269781
375	35.5001184	7.4168785
350	35.5844188	7.48290351
325	35.595412	7.50176598
300	35.5903685	7.60031723
275	35.5701105	7.55173528
250	35.563743	7.46887594
225	35.5056126	7.47144831
200	35.5261717	7.35230607
175	35.4946523	7.24209059
150	35.4199797	7.11187671
125	35.5376443	7.08649021
100	35.4698396	6.96409726
75	35.4190955	6.8320967
50	35.4045283	6.72720467
25	35.4588512	6.61283302
0	35.4604051	6.49706361
-25	35.415242	6.35224882
-50	35.3143116	6.21744947
-75	35.3506656	6.0941813
-100	35.2285903	5.92473064
-125	35.268274	5.80725269
-150	35.1340051	5.60376163
-175	35.089177	5.45964594
-200	35.0510999	5.24751488
-225	35.0032835	5.01541399
-250	34.8820256	4.74261269
-275	34.8960394	4.4759639
-300	34.8876424	4.12536037
-325	34.8981162	3.81534564
-350	34.7325854	3.30087103
-375	34.5989859	2.92202474
-400	34.4917595	2.69628616
-425	34.4246019	2.44776674
-450	34.4055571	2.3106189
-475	34.3854697	2.17385263
-500	34.2480984	2.0793117
-525	34.2919124	2.09801095
-550	34.2369575	2.10812271
-575	34.2631497	2.1968449
-600	34.3167733	2.31684877
-625	34.4164868	2.47010275
-650	34.5188404	2.77931591
-675	34.6175549	3.16395477
-700	34.7303503	3.45152435
-725	34.792608	3.79070894
-750	34.7832519	4.0470772
-775	34.9802536	4.35942199
-800	36.0576625	4.84757673
-825	35.1025757	4.23325992
-850	35.0955455	4.47196468
-875	35.2434613	4.7374895
-900	35.3184717	4.95356569
-925	35.3771854	5.24644942
-950	35.4515636	5.50879755
-975	35.482266	5.80360577
-1000	35.6153324	6.04974799

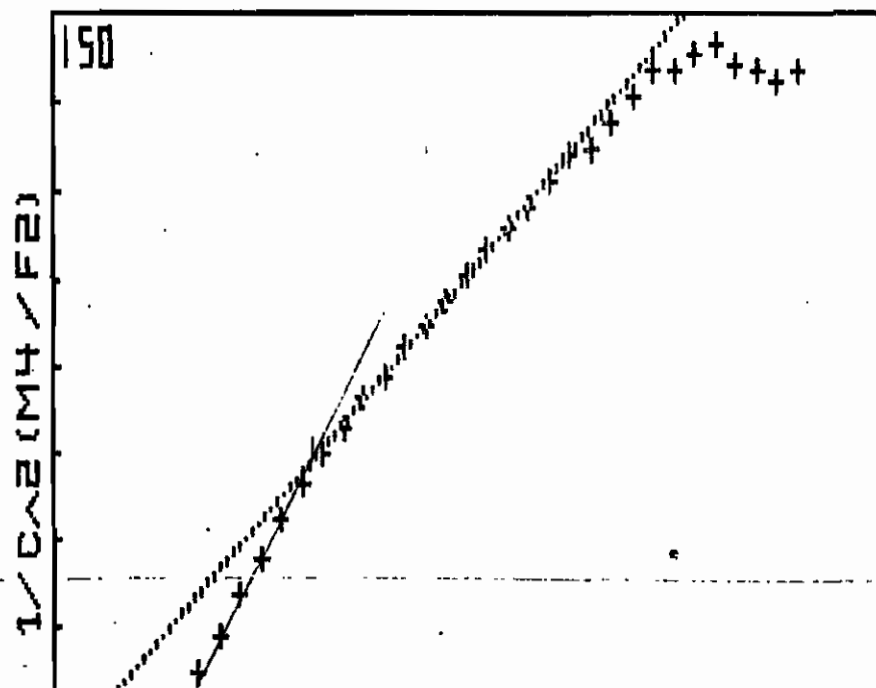
page 18

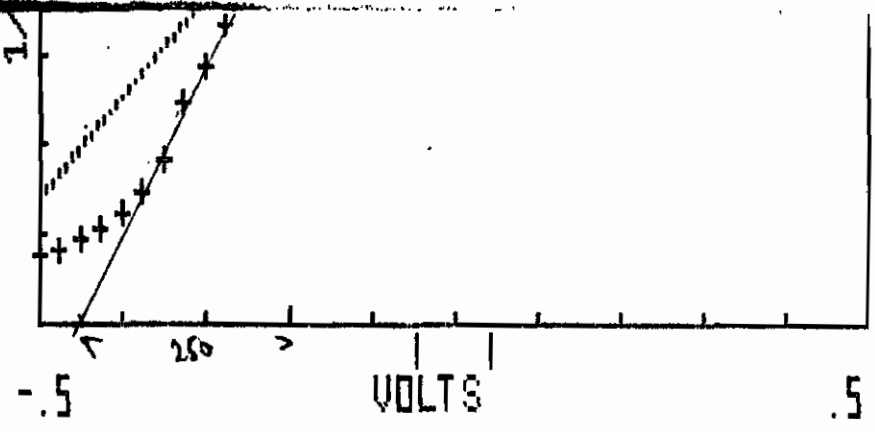


VALEUR ORIGINE DES POTENTIELS (mV) = -1000
 VALEUR MAX DES POTENTIELS (mV) = 400
 VALEUR ORIGINE DE $1/(C^2)$ (M^4/F^2) = 0
 VALEUR MAX DE $1/(C^2)$ (M^4/F^2) = 150

POT. BANDE PLATE/ECS (V) = -.456304507
 TAUX DE DOPANT (AT./M^3) = 4.28548919E+26

105





VALEUR ORIGINE DES POTENTIELS (mV) = -500
 VALEUR MAX DES POTENTIELS (mV) = 500
 VALEUR ORIGINE DE 1/(CAPA^2) (M^4/F^2) = 0
 VALEUR MAX DE 1/(CAPA^2) (M^4/F^2) = 150

POT. BANDE PLATE/ECS (V) = -.623021211
 TAUX DE DOPANT (AT./M^3) = 6.94327168E+26

MESURES D'IMPEDANCES

(Circuit RC serie)

REFERENCE ECHANTILLON = L304/.2V/20DES

FREQUENCE = 2000Hz

CONSTANT DIELECTRIQUE = 12 F/M

SURFACE ECHANTILLON = 1.26E-04 M2

POT. (MV)	RESIST. (OHM)	CAPA (F/M^2)	1/(CAPA^2) (M^4/F^2)
300	34.0656249	.0911927074	120.248531
275	34.0399899	.0908009574	121.288366
250	34.0699758	.0910749802	120.559608
225	34.0470198	.0908733651	121.095158
200	34.0278452	.0909228106	120.963486
175	34.0371505	.091081996	120.541036
150	34.0200372	.0926547426	116.483575
125	33.9941239	.0927340452	116.284436
100	34.0248833	.0933955391	114.643051
75	34.0068396	.0951522265	110.449077
50	34.0002455	.0962433148	107.959001
25	33.95489	.0980494368	103.975888

50	34.0002455	.0962433148	107.959001
25	33.95489	.0980694368	103.975888
0	33.9349154	.0999812789	100.037453
-25	33.918934	.10239489	95.3769502
-50	33.8904623	.104374838	91.792707
-75	33.86453	.106766887	87.7237
-100	33.7728943	.109454419	83.4705733
-125	33.8056707	.111419875	80.5516914
-150	33.7036116	.116078217	74.2161702
-175	33.6497016	.119479209	70.0511582
-200	33.6979546	.124508711	64.5060305
-225	33.6903815	.130026225	59.1477311
-250	33.5047355	.137127368	53.1804144
-275	33.585449	.146163248	46.8083821
-300	33.5277015	.157925919	40.0952731
-325	33.4418486	.174830168	32.7165313
-350	33.3041758	.193204871	26.7894538
-375	33.2543221	.221361915	20.4077061
-400	33.1220219	.245255791	16.6249925
-425	33.1014664	.27109632	13.6066983
-450	32.9075868	.29085228	11.8210228
-475	32.9949778	.31495292	10.0811165
-500	32.8951652	.329719659	9.19835617
-525	33.008855	.333150987	9.0098548
-550	33.0573077	.329179111	9.22859237
-575	32.9289975	.324239412	9.5119245
-600	32.9646089	.313458552	10.1774682
-625	33.0601698	.254023209	15.4971988
-650	33.0442706	.275042343	13.2190694
-675	33.2501774	.244898802	16.6734964
-700	33.3640996	.225781445	19.6165895
-725	33.3785043	.203891677	24.0547586
-750	33.4119237	.193824558	26.6184275
-775	33.5506792	.179660434	30.9809772
-800	33.5957583	.168535554	35.2060203

page 20

-775	33.5506792	.179660434	30.9809772
-800	33.5957583	.168535554	35.2060203
-825	33.8497783	.158853561	39.6283594
-850	33.8753833	.14868648	45.2331714
-875	33.9474032	.139683294	51.2520291
-900	33.8371885	.131605602	57.7366056
-925	34.2159614	.122826727	66.2848444
-950	34.1822379	.1174446	72.4993139
-975	34.2714304	.112506467	79.0032628
-1000	34.3087599	.1074309	86.6446135

page 21

POTENTIEL (mV)

IMPEDANCE REELLE

IMPEDANCE IMAGINAIRE

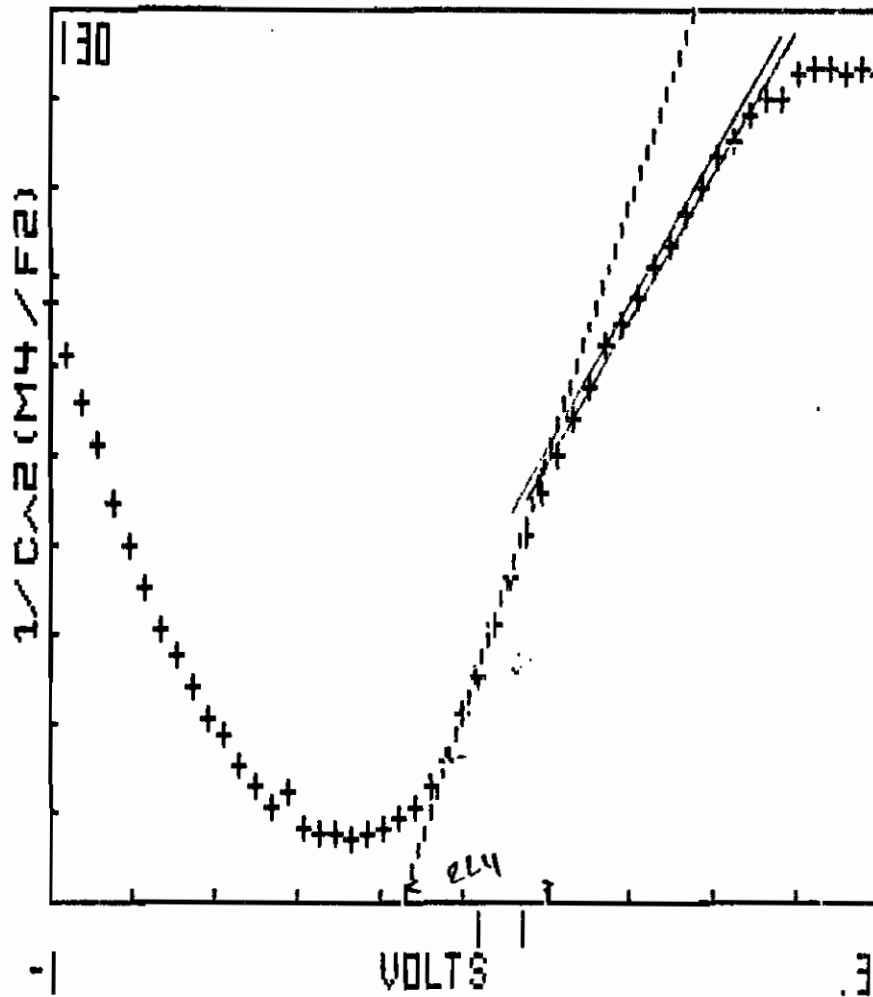
300	34.0656249	6.92914591
275	34.0399899	6.95904008
250	34.0699758	6.93810279
225	34.0470198	6.95349593
200	34.0278452	6.94971449
175	34.0371505	6.93756837
150	34.0200372	6.81980821
125	33.9941239	6.81397618
100	34.0248833	6.76571473
75	34.0068396	6.64080703
50	34.0002455	6.56552173
25	33.95489	6.44326709
0	33.9349154	6.32005893
-25	33.918934	6.17108504
-50	33.8904623	6.05402207
-75	33.86453	5.91838532
-100	33.7728943	5.7730659
-125	33.8056707	5.67122852
-150	33.7036116	5.44363609
-175	33.6497016	5.28868226
-200	33.6979546	5.0750459
-225	33.6903815	4.85969329
-250	33.5047355	4.60803399
-275	33.585449	4.3231632
-300	33.5277015	4.00116447
-325	33.4418486	3.61429371
-350	33.3041758	3.27055717
-375	33.2543221	2.85454512
-400	33.1220219	2.57644304
-425	33.1014664	2.33086002
-450	32.9075868	2.17253781
-475	32.9949778	2.00629216
-500	32.8951652	1.91643888
-525	33.008855	1.89670029
-550	33.0573077	1.91958588
-575	32.9289975	1.94883025
-600	32.9646089	2.01585687
-625	33.0601698	2.48751906
-650	33.0442706	2.29741925
-675	33.2501774	2.58019872
-700	33.3640996	2.7986692
-725	33.3785043	3.09913373
-750	33.4119237	3.26010069
-775	33.5506792	3.5171215
-800	33.5957583	3.74928352

-725
 -750
 -775
 -800
 -825
 -850
 -875
 -900
 -925
 -950
 -975
 -1000

33.4119237
 33.5506792
 33.5957583
 33.6497783
 33.8753833
 33.9474032
 33.8371885
 34.2159614
 34.1822379
 34.2714304
 34.3087599

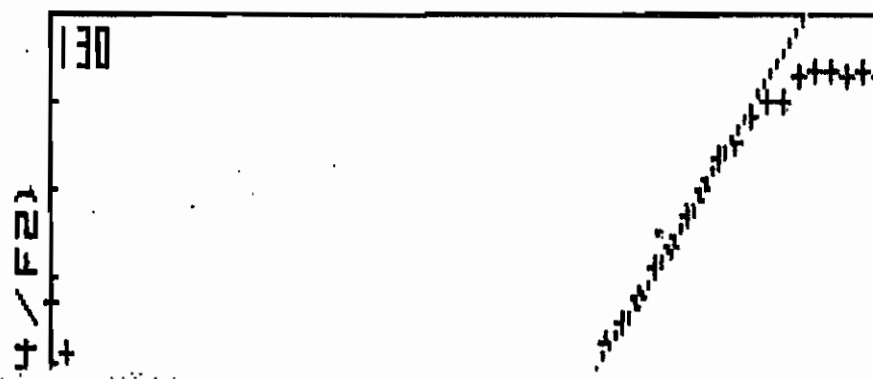
3.407913373
 3.26010069
 3.5171215
 3.74928352
 3.97779925
 4.24979845
 4.52371616
 4.80137293
 5.14454459
 5.38030337
 5.61645559
 5.8818047

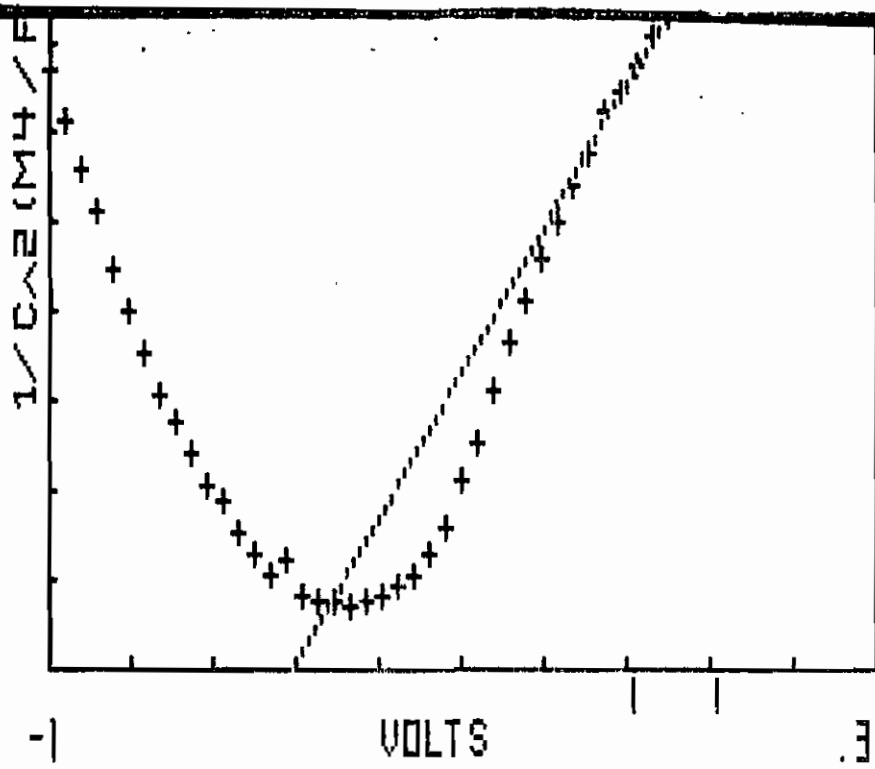
page 22



VALEUR ORIGINE DES POTENTIELS (mV) = -1000
 VALEUR MAX DES POTENTIELS (mV) = 300
 VALEUR ORIGINE DE 1/(CAPA^2) (M^4/F^2) = 0
 VALEUR MAX DE 1/(CAPA^2) (M^4/F^2) = 130

POT. BANDE PLATE/ECS (V) = -.441476787
 TAUX DE DOPANT (AT./M^3) = 4.16907622E+26





VALEUR ORIGINE DES POTENTIELS (mV)=-1000
 VALEUR MAX DES POTENTIELS (mV)=300
 VALEUR ORIGINE DE 1/(CAPA^2) (M^4/F^2)=0
 VALEUR MAX DE 1/(CAPA^2) (M^4/F^2)=130

POT. BANDE PLATE/ECS (V)=-.613616914
 TAUX DE DOPANT (AT./M^3)=7.22117433E+26

MESURES D'IMPEDANCES

(Circuit RC serie)

REFERENCE ECHANTILLON=L.304/.4V/20DEG

FREQUENCE=2000Hz

CONSTANT DIELECTRIQUE= 12 F/M

SURFACE ECHANTILLON= 1.26E-04 M2

POT. (MV)	RESIST. (OHM)	CAPA (F/M^2)	1/(CAPA^2) (M^4/F^2)
200	30.9823995	.0951550222	110.442587
175	31.0288778	.0956102814	109.393321
150	31.0322877	.0949347862	110.955605
125	31.0170144	.0954663456	109.723437
100	30.8788138	.0963339307	107.755994
75	31.0088181	.0970810259	106.103885
50	31.0488778	.0974500257	107.55301

Page 24

75	31.0088181	.0970810259	106.103885
50	31.0406762	.0982690957	103.55381
25	30.995567	.098725074	102.599457
0	30.8604884	.100691826	98.6305756
-25	30.9611944	.101766287	96.5588618
-50	30.9196579	.103726367	92.9440654
-75	30.8625425	.105920864	89.1326818
-100	30.8602212	.10875829	84.5425333
-125	30.8276216	.111167394	80.9160024
-150	30.7743121	.114035386	76.8990065
-175	30.7831339	.118314615	71.437001
-200	30.7206046	.122069752	67.1094804
-225	30.5959386	.128782577	60.2956216
-250	30.6633128	.134096588	55.6114918
-275	30.6091373	.143662498	48.4521636
-300	30.4301297	.15540394	41.4072081
-325	30.4761189	.171858905	33.8575806
-350	30.2314946	.190137318	27.6608341
-375	30.1775558	.216325613	21.3689958
-400	30.0670935	.240043459	17.3548254
-425	30.1427496	.264894876	14.2512476
-450	29.9809662	.292424145	11.6942814
-475	29.9607795	.30883858	10.4842389
-500	29.8288387	.330097183	9.17733029
-525	29.8728344	.3309854	9.12814068
-550	29.8540036	.329660256	9.20167343
-575	29.9388401	.315784736	10.0280786
-600	29.9494355	.294265029	11.5484233
-625	30.0241545	.273601224	13.3586917
-650	30.0352514	.254735778	15.4106198
-675	30.1760922	.233699973	18.309761
-700	30.2258371	.219132702	20.8250288
-725	30.3882194	.202693569	24.3399711
-750	30.4191059	.188754706	28.0675447
-775	30.5628829	.176885967	31.960476

-750	30.4191059	.188754706	28.0675447
-775	30.5628829	.176885967	31.960476
-800	30.6304491	.1677206	35.5489833
-825	30.8100842	.157114345	40.5105669
-850	30.8203006	.148631927	45.2663817
-875	30.9900947	.139463436	51.4137492
-900	31.038196	.133741389	55.9072771
-925	31.0967888	.125377231	63.615457
-950	31.0953359	.120690979	68.6515556
-975	31.2100493	.113806002	77.2093088
-1000	31.4029372	.110305777	82.1870673

page 25

POTENTIEL (mV)

IMPEDANCE REELLE

IMPEDANCE IMAGINAIRE

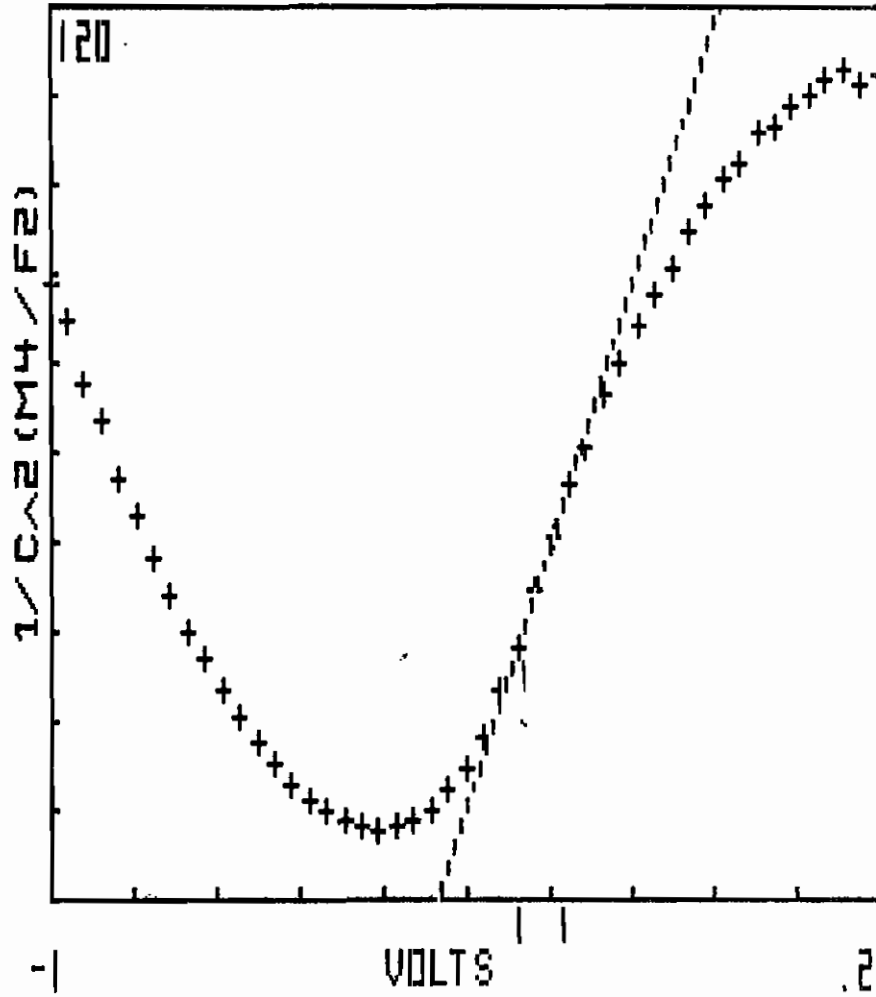
200	30.9823995	6.64061192
175	31.0288778	6.60899189
150	31.0322877	6.65601725
125	31.0170144	6.61895636
100	30.8788138	6.55934591
75	31.0088181	6.50886791
50	31.0406762	6.43017594
25	30.995567	6.40047709
0	30.8604884	6.27546049
-25	30.9611944	6.20920337
-50	30.9196579	6.09187029
-75	30.8625425	5.96565731
-100	30.8602212	5.81001755
-125	30.8276216	5.68410893
-150	30.7743121	5.54115349
-175	30.7831339	5.34073983
-200	30.7206046	5.17644679
-225	30.5959386	4.90662316
-250	30.6633128	4.71210235
-275	30.6091373	4.39841702
-300	30.4301297	4.06609752
-325	30.4761189	3.67678111
-350	30.2314946	3.32332222
-375	30.1775558	2.92100212
-400	30.0670935	2.63238823
-425	30.1427496	2.3854277
-450	29.9809662	2.16085978
-475	29.9607795	2.04601243
-500	29.8288387	1.9142471
-525	29.8728344	1.90911011
-550	29.8540036	1.91678421
-575	29.9388401	2.00100734
-600	29.9494355	2.14734173
-625	30.0241545	2.30952028
-650	30.0352514	2.48056076
-675	30.1760922	2.70384103
-700	30.2258371	2.88358409
-725	30.3882194	3.1174525
-750	30.4191059	3.34766527
-775	30.5628829	3.57228775
-800	30.6304491	3.76750127
-825	30.8100842	4.02183247
-850	30.8203006	4.25135828

-775
-800
-825
-850
-875
-900
-925
-950
-975
-1000

30.5628027
30.6304491
30.8100842
30.8203006
30.9900947
31.038196
31.0967888
31.0953359
31.2100493
31.4029372

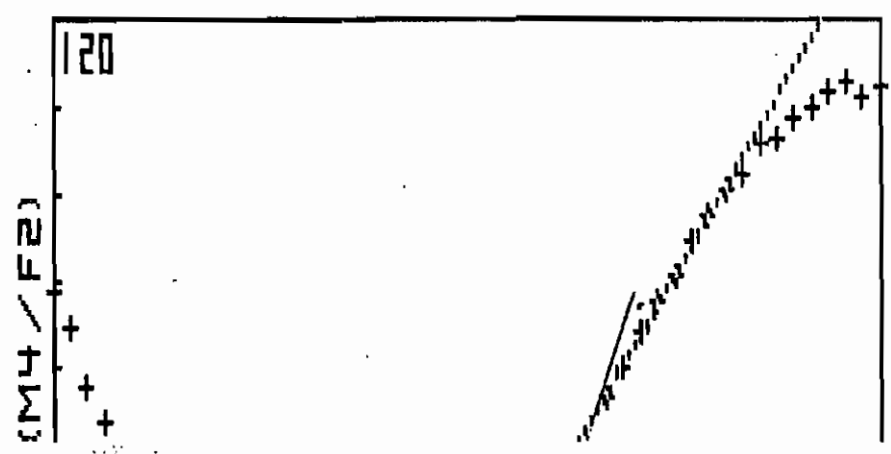
3.17120720
3.76750127
4.02183247
4.25135828
4.53084759
4.72469726
5.03989098
5.23558249
5.55232204
5.72850844

page 26

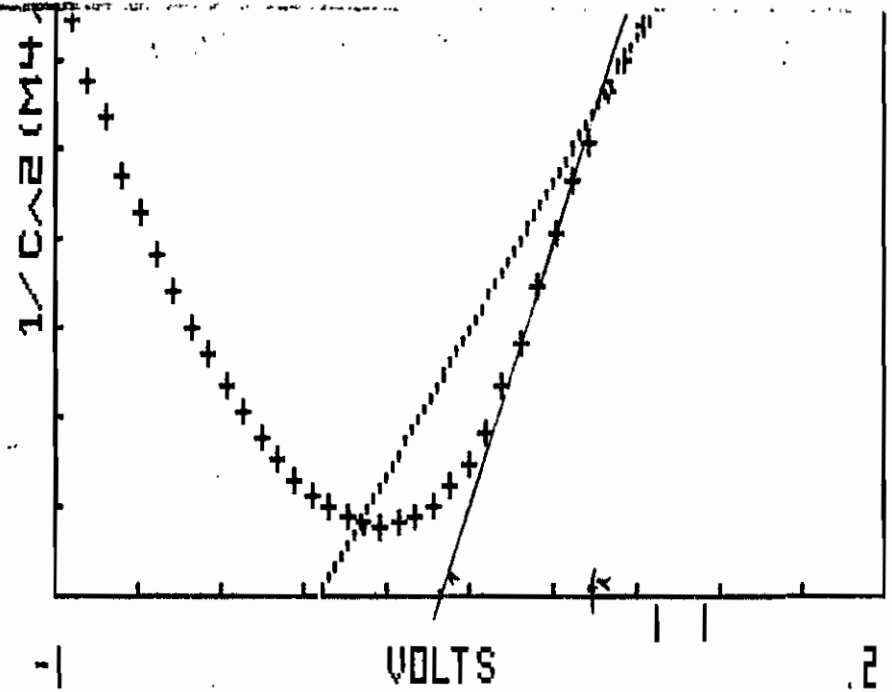


VALEUR ORIGINE DES POTENTIELS (mV) = -1000
 VALEUR MAX DES POTENTIELS (mV) = 200
 VALEUR ORIGINE DE 1/(CAPA^2) (M^4/F^2) = 0
 VALEUR MAX DE 1/(CAPA^2) (M^4/F^2) = 120

POT. BANDE PLATE/ECS (V) = -.441281817
 TAUX DE DOPANT (AT./M^3) = 4.02546617E+26



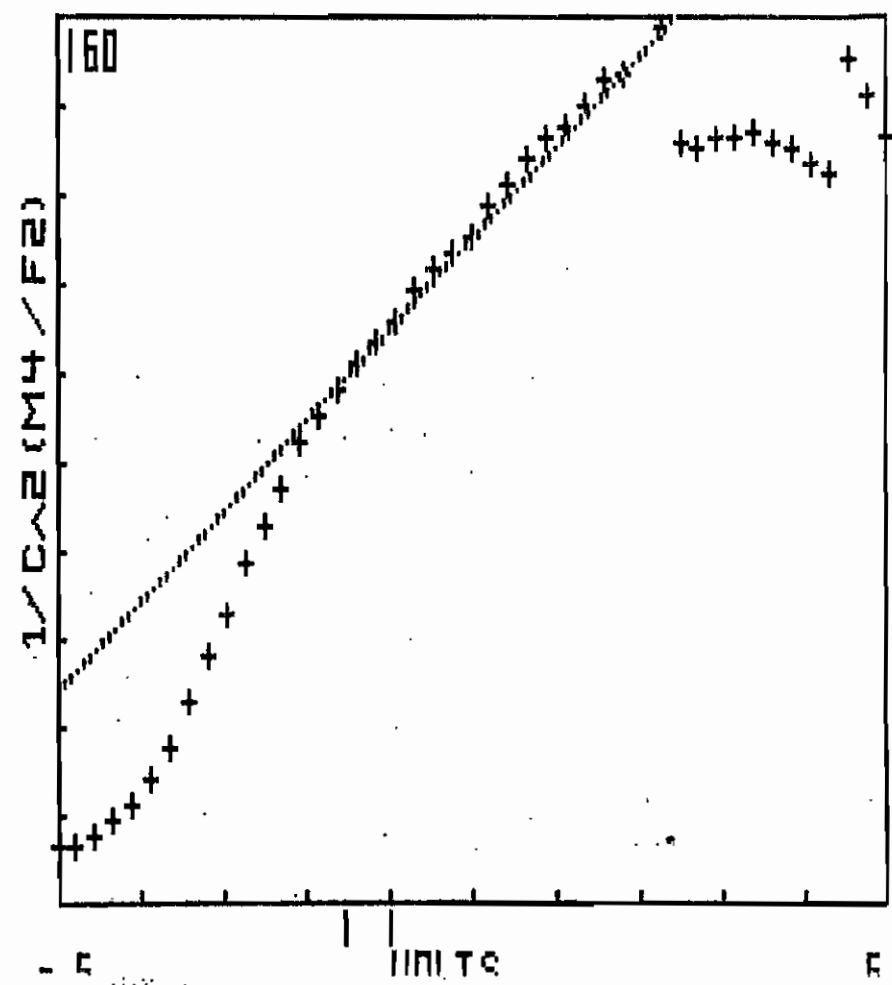
log 27



VALEUR ORIGINE DES POTENTIELS (mV) = -1000
 VALEUR MAX DES POTENTIELS (mV) = 200
 VALEUR ORIGINE DE 1/(CAPA^2) (M^4/F^2) = 0
 VALEUR MAX DE 1/(CAPA^2) (M^4/F^2) = 120

POT. BANDE PLATE/ECS (V) = -.616541193
 TAUX DE DOPANT (AT./M^3) = 7.15183117E+26

0,5V
 L304



-5

VOLTS

.6

VALEUR ORIGINE DES POTENTIELS (mV) = -500
 VALEUR MAX DES POTENTIELS (mV) = 600
 VALEUR ORIGINE DE 1/(CAPA^2) (M^4/F^2) = 0
 VALEUR MAX DE 1/(CAPA^2) (M^4/F^2) = 160

log 28

POT. BANDE FLATE/ECS (V) = -.756220051
 TAUX DE DOPANT (AT./M^3) = 7.87940157E+26

MESURES D'IMPEDANCES

(Circuit RC serie)

REFERENCE ECHANTILLON=L304/0V/20DEG

FREQUENCE=2000Hz

CONSTANT DIELECTRIQUE= 12 F/M

SURFACE ECHANTILLON= 1.26E-04 M2

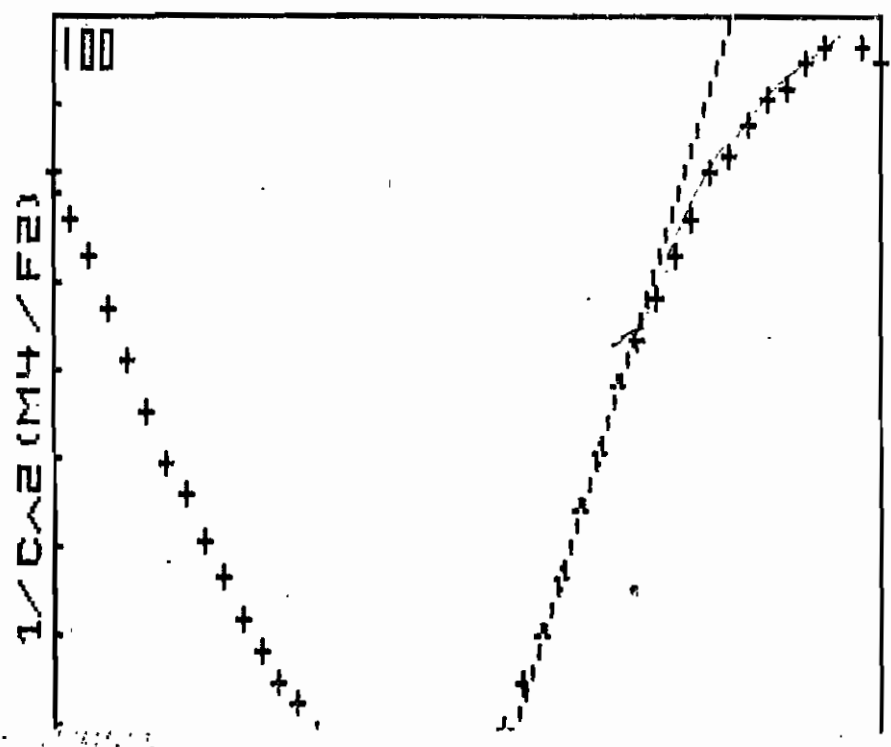
POT. (mV)	RESIST. (OHM)	CAPA (F/M^2)	1/(CAPA^2) (M^4/F^2)
100	31.676088	.103041437	94.1837955
75	31.6912469	.101031702	96.4349467
50	31.6157893	.095794573	108.97282
25	31.6424269	.101947231	96.216406
0	31.6171489	.10307612	94.1204237
-25	31.6606389	.104578171	91.4361463
-50	31.6196541	.105254701	90.2645027
-75	31.5868441	.106897121	87.5120756
-100	31.5973889	.109101465	84.0115186
-125	31.5650913	.110346275	82.1267519
-150	31.5606868	.114161948	76.728597
-175	31.5018255	.11730704	72.6694461
-200	31.4025493	.121453901	67.7917843
-225	31.5013357	.125644283	63.3453206
-250	31.4183279	.131707609	57.6472068
-275	31.3834485	.141169962	50.1782375

-250	31.1103177	.131707507	50.1782375
-275	31.3834485	.141169962	43.8151173
-300	31.3440038	.151073403	36.2283265
-325	31.3481875	.166140634	29.538584
-350	31.2041357	.183994637	24.3454964
-375	31.1232587	.202670567	19.1541773
-400	30.993433	.228490552	15.969112
-425	30.8087952	.250241662	13.676664
-450	30.792174	.270402007	12.2762507
-475	30.7358877	.285408646	11.1902818
-500	30.7184062	.298936874	11.3390278
-525	30.6738162	.296969666	11.6612114
-550	30.7149958	.292838495	12.0139219
-575	30.7654856	.288507826	13.7423002
-600	30.828289	.269755485	15.6476214
-625	30.9166874	.252799281	18.7809737
-650	30.9973212	.230749595	22.0388699
-675	31.0285227	.213012623	24.1679406
-700	31.1114225	.20341369	28.1721763
-725	31.1767143	.188403862	31.5856881
-750	31.2869305	.177932315	36.1973157
-775	31.4566352	.166211786	40.2082658
-800	31.495767	.157703862	45.3376924
-825	31.555481	.148514991	49.361477
-850	31.6298904	.142333106	54.9251329
-875	31.7330513	.13493184	60.7689283
-900	31.7960355	.128280077	66.755323
-925	31.9911372	.122393132	72.3830277
-950	31.9696549	.117538901	76.8805102
-975	32.1367221	.114049102	81.9392134
-1000	32.1447037	<u>.11047248</u>	

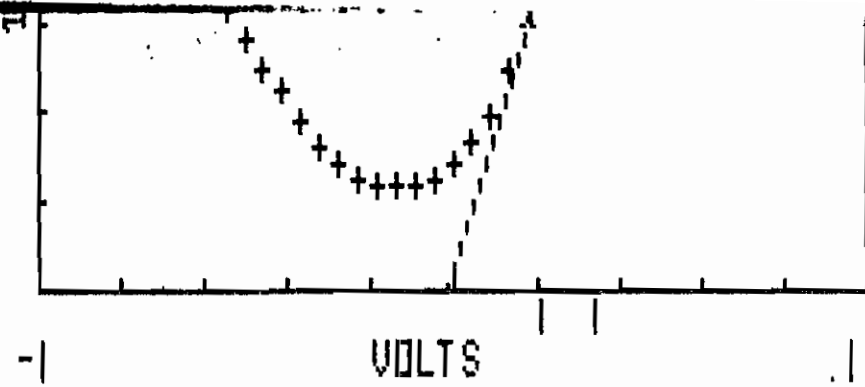
POTENTIEL (mV)	IMPEDANCE REELLE	IMPEDANCE IMAGINAIRE
100	31.676088	6.13236378
75	31.6912469	6.2052147
50	31.6157893	6.59627738
25	31.6424269	6.1981828

100	31.776588	6.12230771
75	31.6912469	6.2052147
50	31.6157893	6.59627738
25	31.6424269	6.1981828
0	31.6171489	6.13030034
-25	31.6606389	6.04225114
-50	31.6196541	6.00341426
-75	31.5868441	5.91117488
-100	31.5973889	5.79174234
-125	31.5650913	5.72640604
-150	31.5606868	5.53501044
-175	31.5018255	5.38661258
-200	31.4025493	5.20269478
-225	31.5013357	5.0291789
-250	31.4183279	4.79765429
-275	31.3834485	4.47607667
-300	31.3440038	4.1826527
-325	31.3481875	3.8033293
-350	31.2041357	3.43427171
-375	31.1232587	3.11780632
-400	30.993433	2.76548666
-425	30.8087952	2.52510941
-450	30.792174	2.33684498
-475	30.7356877	2.21397489
-500	30.7184062	2.11378264
-525	30.6738162	2.12778491
-550	30.7149958	2.15780229
-575	30.7654856	2.19019215
-600	30.828289	2.34244569
-625	30.9166874	2.49956239
-650	30.9973212	2.7384125
-675	31.0283227	2.96643254
-700	31.1114225	3.10641617
-725	31.1767143	3.35389926
-750	31.2869305	3.55128058
-775	31.4566352	3.80170136
-800	31.495767	4.00679835
-825	31.555481	4.25470566
-850	31.6298904	4.43949825
-875	31.7330513	4.68301311
-900	31.7960355	4.92584344
-925	31.9911372	5.16276987
-950	31.9696549	5.37599673
-975	32.1367221	5.54048705
-1000	32.1447037	5.7198641

log 30

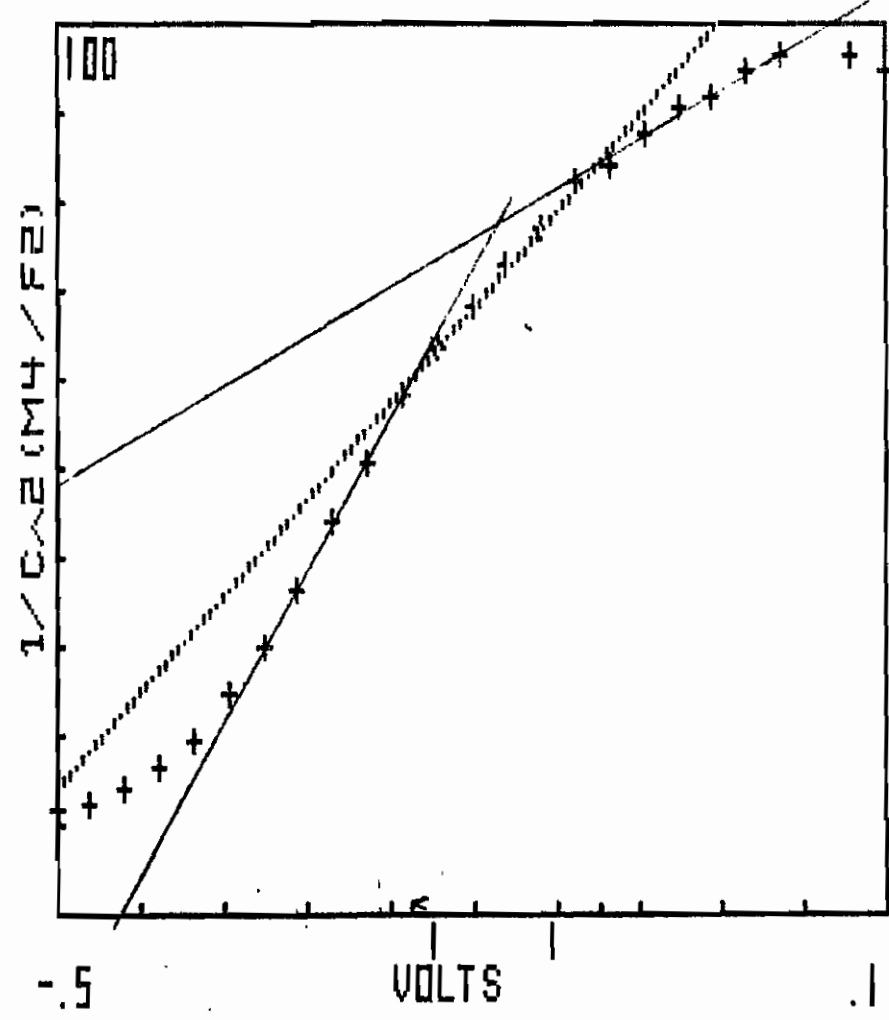


page 31



VALEUR ORIGINE DES POTENTIELS (mV) = -1000
VALEUR MAX DES POTENTIELS (mV) = 1000
VALEUR ORIGINE DE $1/(CAPA^2) (M^4/F^2) = 0$
VALEUR MAX DE $1/(CAPA^2) (M^4/F^2) = 100$

POT. BANDE PLATE/ECS (V) = -.455582452
TAUX DE DOPANT (AT./M^3) = 4.21149641E+26



VALEUR ORIGINE DES POTENTIELS (mV) = -500
VALEUR MAX DES POTENTIELS (mV) = 1000
VALEUR ORIGINE DE $1/(CAPA^2) (M^4/F^2) = 0$
VALEUR MAX DE $1/(CAPA^2) (M^4/F^2) = 100$

POT. BANDE PLATE/ECS (V) = -.576894265
TAUX DE DOPANT (AT./M^3) = 6.52379234E+26

MESURES D'IMPEDANCES

(Circuit RC serie)

REFERENCE ECHANTILLON=L3047-.1V/20DEG

FREQUENCE=2000Hz

CONSTANT DIELECTRIQUE= 12 F/M

SURFACE ECHANTILLON= 1.26E-04 M2

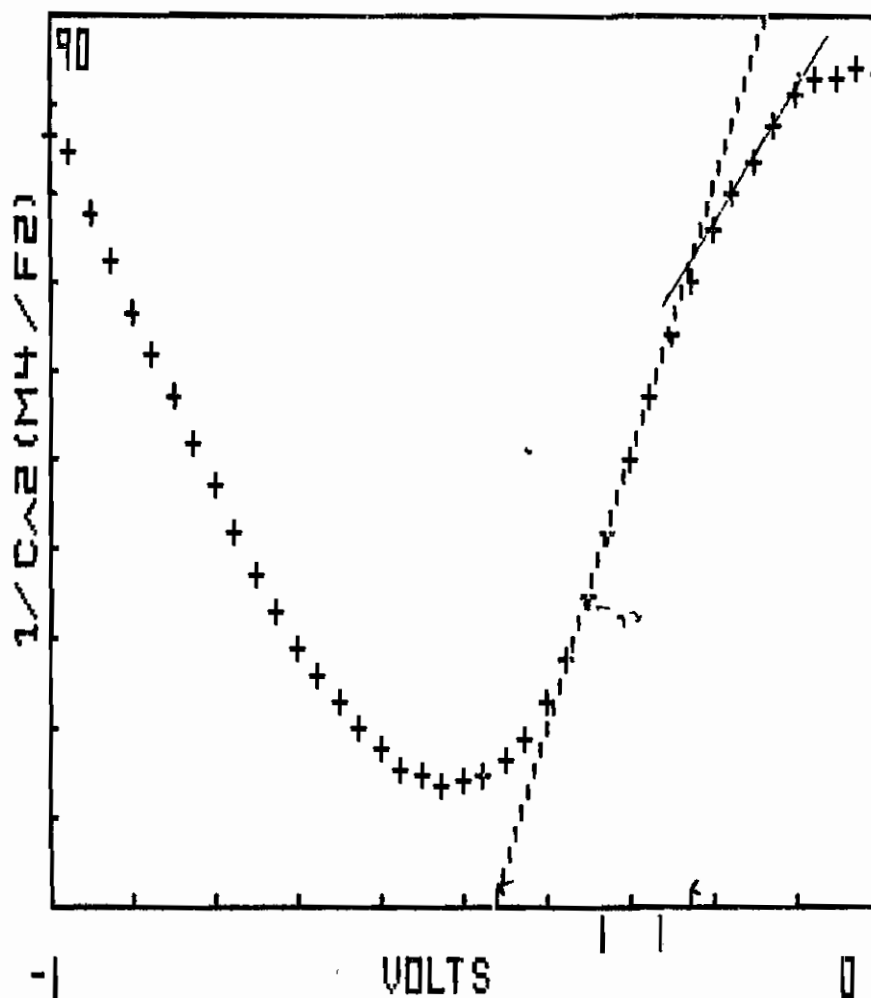
POT. (MV)	RESIST. (OHM)	CAPA (F/M^2)	1/ (CAPA^2) (M^2/F^2)
0	32.6561929	.10923539	83.8056445
-25	32.7085812	.108856733	84.3896924
-50	32.6888555	.109598948	83.2505725
-75	32.6566819	.109432466	83.504067
-100	32.6465924	.110747717	81.5324395
-125	32.6457037	.112681222	78.7584036
-150	32.6198615	.115650949	74.7655615
-175	32.6242269	.117993842	71.8259392
-200	32.6006508	.121060192	68.2334428
-225	32.5449722	.126001485	62.9866757
-250	32.5429439	.131852011	57.5210076
-275	32.5029254	.139787202	51.1758629
-300	32.4804721	.149911685	44.4968258
-325	32.4637716	.163247478	37.5238197
-350	32.251722	.180153281	30.811699
-375	32.0860883	.200638015	24.8412562
-400	32.1316717	.221058847	20.4637018
-425	31.8309651	.244269602	16.7595035
-450	31.8570146	.262396625	14.5239087
-475	31.8360682	.275159236	13.2078403
-500	31.8187303	.28528217	12.2871381
-525	31.8020858	.290088552	11.8833481
-550	31.7951774	.280418864	12.7170257

-525	31.8026800	.270000000	11.1000000
-550	31.7951774	.280418864	12.7170257
-575	31.9320323	.271560233	13.5602407
-600	31.9724405	.255014106	15.3769992
-625	32.0184633	.23741265	17.7415797
-650	32.0591978	.222395104	20.2185291
-675	32.119705	.207504328	23.2244631
-700	32.2282019	.198264744	25.4395258
-725	32.2639868	.184190005	29.4756985
-750	32.4104273	.174037074	33.0153915
-775	32.3579819	.164132242	37.1203613
-800	32.64003	.154470641	41.9090777
-825	32.6331539	.146577772	46.5440068
-850	32.7273785	.139774703	51.1850158
-875	32.6990408	.134557607	55.231074
-900	32.9040222	.12953562	59.5966134
-925	32.9116318	.124045981	64.9882142
-950	32.8770576	.119849817	69.6185938
-975	33.0841215	.114899719	75.7464125
-1000	33.0984557	.113688762	77.3686338

POTENTIEL (mV)	IMPEDANCE REELLE	IMPEDANCE IMAGINAIRE
0	32.6561929	5.78464152
-25	32.7085812	5.80476333
-50	32.6888555	5.76545292
-75	32.6566819	5.77422403
-100	32.6465924	5.70564877
-125	32.6457037	5.60774514
-150	32.6198615	5.46374743
-175	32.6242269	5.35525891
-200	32.6006508	5.21961485
-225	32.5449722	5.01492166
-250	32.5429439	4.79239999
-275	32.5029254	4.52035354
-300	32.4804721	4.21506553
-325	32.4637716	3.87073408
-350	32.251722	3.50749967
-375	32.0860883	3.14939107
-400	32.1316717	2.85845866
-425	31.8309651	2.5868449
-450	31.8570146	2.40813911
-475	31.8360682	2.29644327
-500	31.8187303	2.21495642
-525	31.8020858	2.17825754
-550	31.7951774	2.25337043
-575	31.9320323	2.32687816
-600	31.9724405	2.47785342
-625	32.0184633	2.66155815

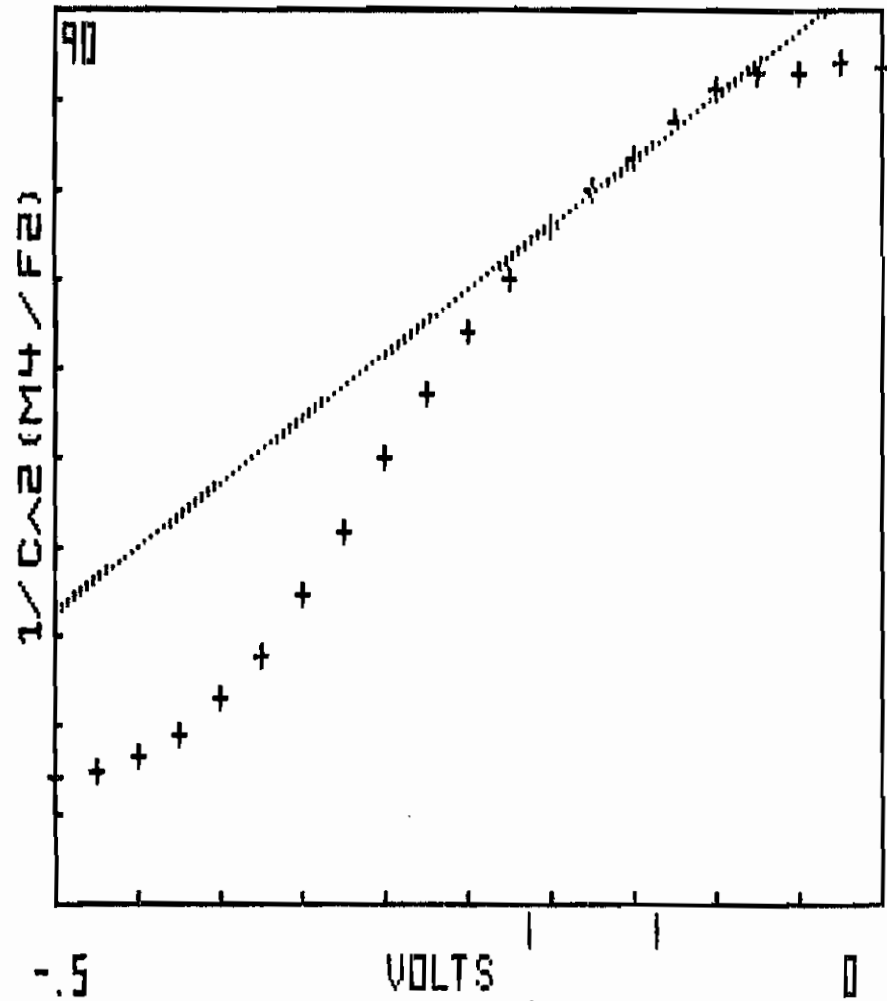
-550	31.7951774	2.25537043
-575	31.9320323	2.32687816
-600	31.9724405	2.47785342
-625	32.0184633	2.66155815
-650	32.0591978	2.84128366
-675	32.119705	3.04517781
-700	32.2282019	3.18708976
-725	32.2639868	3.4306141
-750	32.4104273	3.63076417
-775	32.3579819	3.84986865
-800	32.64003	4.09066455
-825	32.6331539	4.31093723
-850	32.7273785	4.52075776
-875	32.6990408	4.69603754
-900	32.9040222	4.87809896
-925	32.9116318	5.09397861
-950	32.8770576	5.27232823
-975	33.0841215	5.49947016
-1000	33.0984557	5.55804783

page 34



VALEUR ORIGINE DES POTENTIELS (mV) = -1000
 VALEUR MAX DES POTENTIELS (mV) = 0
 VALEUR ORIGINE DE 1/(CAPA^2) (M^4/F^2) = 0
 VALEUR MAX DE 1/(CAPA^2) (M^4/F^2) = 90

POT. BANDE PLATE/ECS (V) = -.462608759
 TAUX DE DOPANT (AT./M^3) = 4.30338514E+26



VALEUR ORIGINE DES POTENTIELS (mV)=-500
 VALEUR MAX DES POTENTIELS (mV)=0
 VALEUR ORIGINE DE 1/(CAPA^2) (M^4/F^2)=0
 VALEUR MAX DE 1/(CAPA^2) (M^4/F^2)=90

POT. BANDE PLATE/ECS (V)=-.72312471
 TAUX DE DOPANT (AT./M^3)=8.99401892E+26

MESURES D'IMPEDANCES

(Circuit RC serie)

REFERENCE ECHANTILLON=L304/-.2V/20DEG

FREQUENCE=2000Hz

CONSTANT DIELECTRIQUE= 12 F/M

SURFACE ECHANTILLON= 1.26E-04 M2

POT. (MV)	RESIST. (OHM)	CAPA (F/M^2)	1/(CAPA^2) (M^4/F^2)
-100	32.4388239	.123627745	65.4286723

105 30.4175100 0.04131100 11.0751757

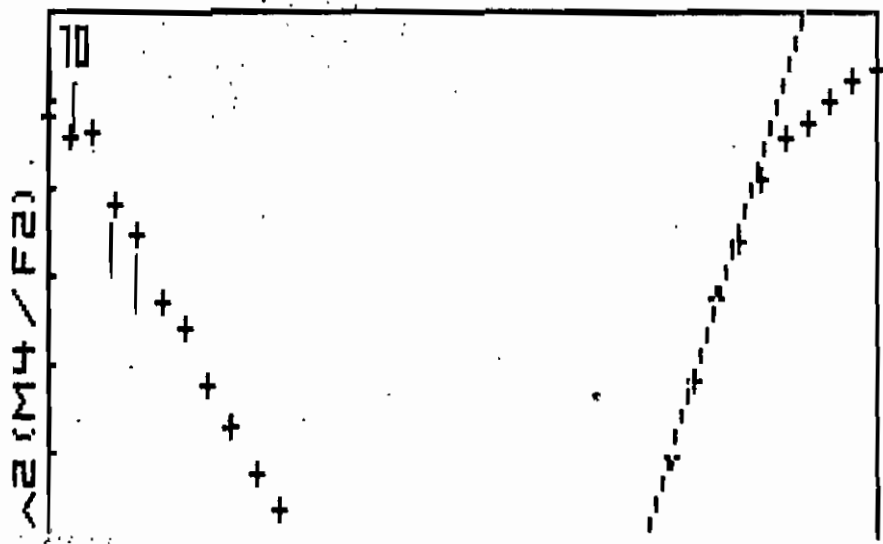
-100	32.4388239	.123627745	65.4286723
-125	32.433267	.124731689	64.2756387
-150	32.4684461	.126125765	62.8626051
-175	32.4338718	.128081145	60.957844
-200	32.4224649	.129146282	59.9564875
-225	32.4092117	.133097215	56.4497553
-250	32.3991476	.139222793	51.5916377
-275	32.3607489	.145908895	46.9717198
-300	32.3366254	.156825997	40.6596732
-325	32.2980126	.170508623	34.3959497
-350	32.2414014	.189425352	27.8691547
-375	32.0175423	.212809628	22.0809348
-400	31.9405375	.233130998	18.3972429
-425	31.964374	.25390346	15.5118202
-450	31.8781401	.270761640	13.6403565
-475	31.8374094	.2892923	11.9488539
-500	31.7940285	.293645338	11.5972167
-525	31.8714874	.294148492	11.5575757
-550	31.8628023	.285146929	12.2587962
-575	31.938884	.273321435	13.3860553
-600	31.9355753	.26009696	14.7818723
-625	31.9827178	.246766442	16.4220663
-650	32.0003294	.22864192	19.1288246
-675	32.1231804	.215642964	21.5045032
-700	32.2211032	.205949044	23.57656
-725	32.2422676	.194105403	26.5414565
-750	32.3329973	.182215481	30.1182309
-775	32.3936259	.174015407	33.0236139
-800	32.4694958	.164417798	36.9915342
-825	32.4635168	.157671566	40.2247395
-850	32.6518421	.149616032	44.6728574
-875	32.5555823	.146124474	46.8332264
-900	32.789401	.138749717	51.9440474
-925	32.7141503	.135226138	54.686321
-950	32.651711	.135001375	48.100245

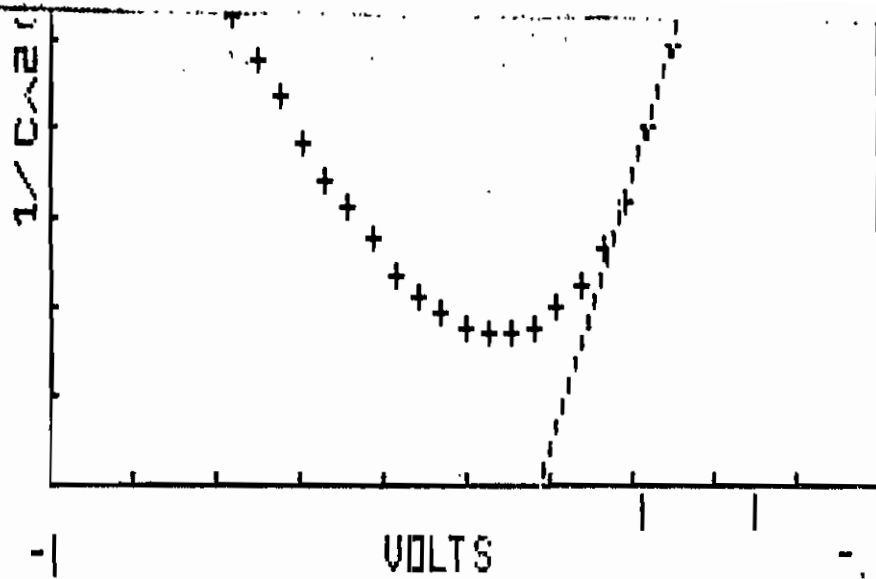
Page 36

-900	32.789401	.138745717	51.7470177
-925	32.7141503	.135226138	51.686321
-950	32.881766	.128886048	60.198845
-975	32.9326344	.129098078	60.0012703
-1000	32.9646192	.127257983	61.7489997

page 37.

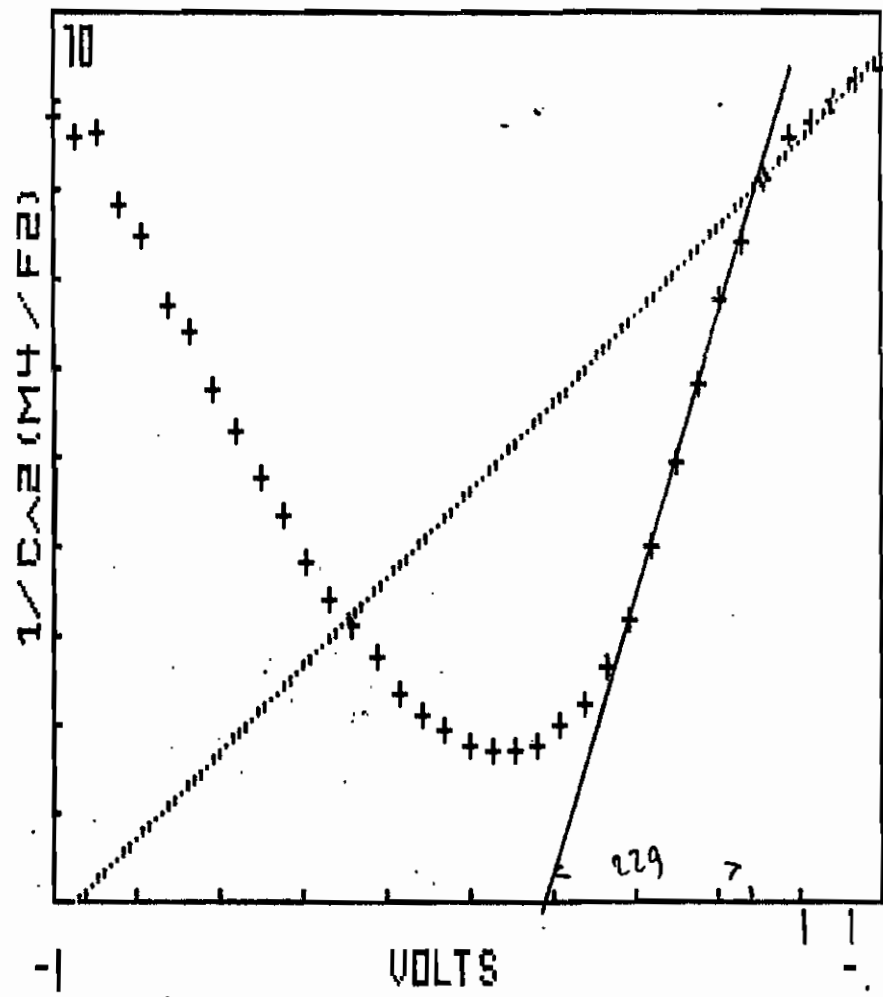
POTENTIEL (mV)	IMPEDANCE REELLE	IMPEDANCE IMAGINAIRE
-100	32.4388239	5.1112117
-125	32.433267	5.06597469
-150	32.4684461	5.009798012
-175	32.4338718	4.93349417
-200	32.4224649	4.89280099
-225	32.4092117	4.74756422
-250	32.3991476	4.53867905
-275	32.3607489	4.33069947
-300	32.3366254	4.0292272
-325	32.2980126	3.70589807
-350	32.2414014	3.33581313
-375	32.0175423	2.96926216
-400	31.9405375	2.71043996
-425	31.964374	2.48869226
-450	31.8781401	2.3337411
-475	31.8374094	2.184253
-500	31.7940285	2.15187334
-525	31.8714874	2.14819247
-550	31.8628023	2.21600695
-575	31.938884	2.31188445
-600	31.9355753	2.42943083
-625	31.9827178	2.56067061
-650	32.0003294	2.76365583
-675	32.1231804	2.93024898
-700	32.2211032	3.06817435
-725	32.2422676	3.25538375
-750	32.3329573	3.46780401
-775	32.3936259	3.63121626
-800	32.4694958	3.84318232
-825	32.4635168	4.00761908
-850	32.6518421	4.22339481
-875	32.5555823	4.32431034
-900	32.789401	4.55415396
-925	32.7141503	4.67282126
-950	32.881766	4.90268408
-975	32.9326344	4.89463192
-1000	32.9646192	4.96540616





VALEUR ORIGINE DES POTENTIELS (mV) = -1000
VALEUR MAX DES POTENTIELS (mV) = -100
VALEUR ORIGINE DE 1/(CAPA^2) (M^4/F^2) = 0
VALEUR MAX DE 1/(CAPA^2) (M^4/F^2) = 70

POT. BANDE PLATE/ECS (V) = -.467848771
TAUX DE DOPANT (AT./M^3) = 4.89414194E+26



VALEUR ORIGINE DES POTENTIELS (mV) = -1000
VALEUR MAX DES POTENTIELS (mV) = -100
VALEUR ORIGINE DE 1/(CAPA^2) (M^4/F^2) = 0
VALEUR MAX DE 1/(CAPA^2) (M^4/F^2) = 70

log 39

POT. BANDE PLATE/ECS(V)=-.975072052
 TAUX DE DOPANT (AT./M^3)=1.54218817E+27

MESURES D'IMPEDANCES

(Circuit RC serie)

REFERENCE ECHANTILLON=L304/- .3V/20DEG

FREQUENCE=2000Hz

CONSTANT DIELECTRIQUE= 12 F/M

SURFACE ECHANTILLON= 1.26E-04 M^2

POT. (MV)	RESIST. (OHM)	CAPA (F/M^2)	1/(CAPA^2) (M^4/F^2)
-100	32.6630241	.137489056	52.9009829
-125	32.6999332	.136023282	54.0472375
-150	32.7017735	.136562652	53.621149
-175	32.6941147	.136513279	53.6599426
-200	32.6662707	.138896465	51.8343451
-225	32.663365	.142237697	49.4277195
-250	32.6681373	.147366101	46.0473679
-275	32.5924677	.15273264	42.8683023
-300	32.5692393	.163013626	37.6315569
-325	32.5250494	.173513318	33.2150085
-350	32.4704313	.189715905	27.7838557
-375	32.4083483	.206601927	23.4277868
-400	32.3062244	.225117375	19.7324936
-425	32.2447509	.243801435	16.8239312
-450	32.2066899	.262114058	14.5551512
-475	32.1284835	.270896601	13.6267688
-500	31.9383848	.272741328	13.4430588
-525	32.0210771	.27220725	13.4958619
-550	32.1308472	.261800191	14.5901609
-575	32.1751128	.247434888	16.3334577
-600	32.2011414	.234141745	17.9330426

y = 17.63 x - 0.445
r = 0.995

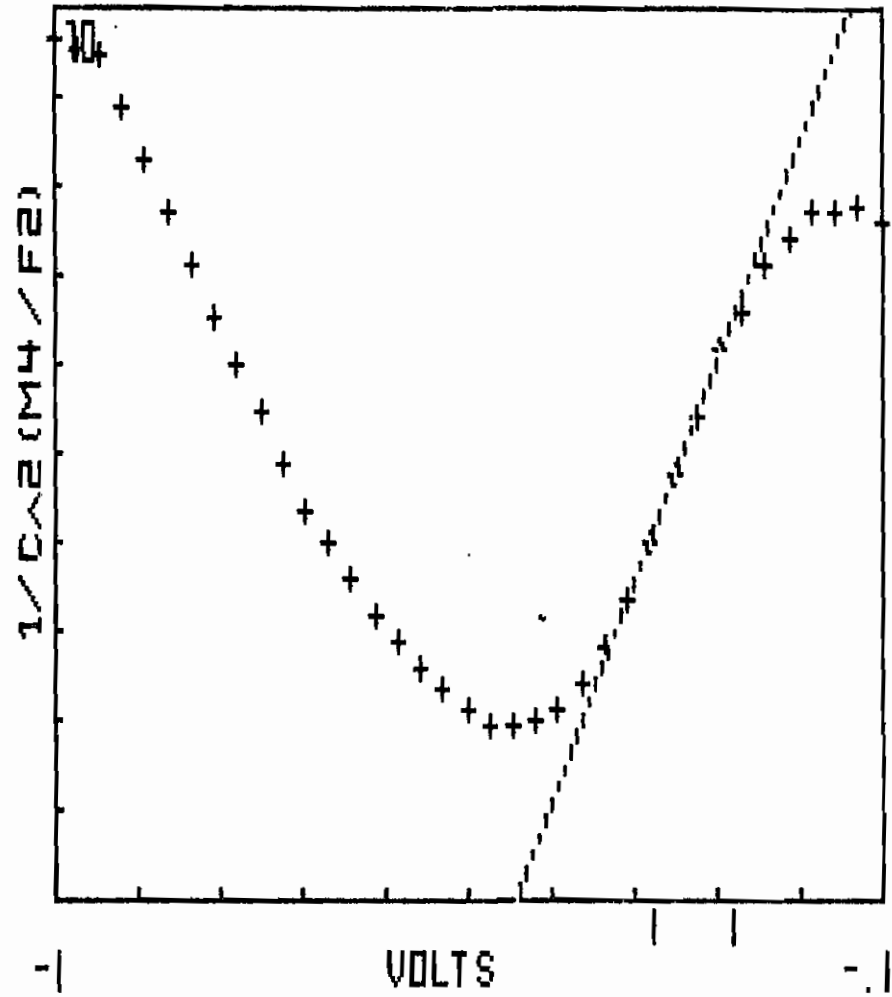
-550	32.1751128	.247434888	16.3334577
-600	32.2011414	.236141745	17.9330526
-625	32.3019007	.223665053	19.9895812
-650	32.3997916	.213681671	21.9010762
-675	32.4503769	.19994733	25.0131727
-700	32.5334161	.190046731	27.68721
-725	32.6086159	.181898073	30.2234338
-750	32.6996204	.171264322	34.0930771
-775	32.7304348	.162203284	38.0084987
-800	32.8980398	.154656511	41.8084032
-825	32.918228	.14834348	45.44259
-850	32.9680034	.142235815	49.4290281
-875	33.1512577	.136673128	53.5344978
-900	33.1094582	.131243279	58.0558319
-925	33.1844726	.126859687	62.1373502
-950	33.3614477	.12310108	65.9897179
-975	33.2412328	.122513739	66.6239553
-1000	33.3583546	.121940276	67.2520692

page 40

POTENTIEL (mV)	IMPEDANCE REELLE	IMPEDANCE IMAGINAIRE
-100	32.6630241	4.59591151
-125	32.6998332	4.64543691
-150	32.7017735	4.62708922
-175	32.6941147	4.62876271
-200	32.6662707	4.54934239
-225	32.663365	4.44247612
-250	32.6681373	4.28787603
-275	32.5924677	4.13721374
-300	32.5692393	3.87628686
-325	32.5250494	3.64172376
-350	32.4704313	3.33070427
-375	32.4083483	3.05847861
-400	32.3062244	2.80692495
-425	32.2447509	2.59181236
-450	32.2066899	2.4107278
-475	32.1284835	2.33257845
-500	31.9383848	2.31680171
-525	32.0210771	2.32134734
-550	32.1308472	2.41362534
-575	32.1751128	2.55375295
-600	32.2011414	2.67588255
-625	32.3019007	2.82515099
-650	32.3997916	2.95714448
-675	32.4503769	3.16027013
-700	32.5334161	3.32490631
-725	32.6086159	3.47385525
-750	32.6996204	3.68954588
-775	32.7304348	3.89565217

-700	32.5334161	3.32490831
-725	32.6086159	3.47385525
-750	32.6996204	3.68954588
-775	32.7304348	3.89565217
-800	32.8980398	4.08574827
-825	32.918228	4.25962487
-850	32.9680034	4.44253493
-875	33.1512577	4.62334904
-900	33.1094582	4.81462805
-925	33.1844726	4.90099585
-950	33.3614477	5.13307904
-975	33.2412328	5.15768746
-1000	33.3583546	5.18194311

page 41



VALEUR ORIGINE DES POTENTIELS (mV) = -1000
 VALEUR MAX DES POTENTIELS (mV) = -100
 VALEUR ORIGINE DE 1/(CAPA^2) (M^4/F^2) = 0
 VALEUR MAX DE 1/(CAPA^2) (M^4/F^2) = 70

POT. BANDE PLATE/ECS (V) = -.49633172
 TAUX DE DOPANT (AT./M^3) = 6.08600552E+26

MESURES D'IMPEDANCES
 (Circuit RC serie)

REFERENCE ECHANTILLON = L304 / -.4V / 20DEG

REFERENCE ECHANTILLON=L304/- .4V/20DEG

FREQUENCE=2000Hz

CONSTANT DIELECTRIQUE=0.12 F/M

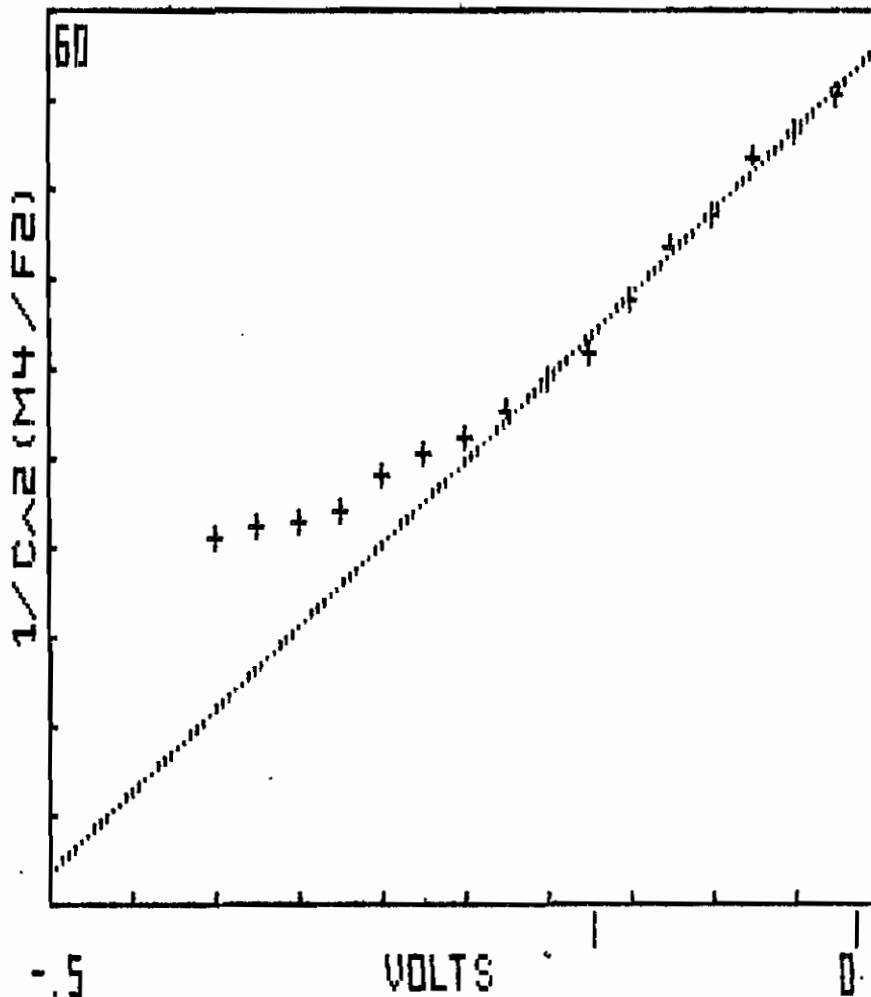
SURFACE ECHANTILLON= 1.26E-04 M2

log 42

OT. (MV)	RESIST. (OHM)	CAPA (F/M^2)	1/(CAPA^2) (M^4/F^2)
-400	31.7121272	.20142758	24.6468901
-375	31.7840149	.198463831	25.3885126
-350	31.808723	.197515124	25.6329913
-325	31.8284365	.194850372	26.3388932
-300	31.8514389	.185907439	28.933866
-275	31.8691634	.182569815	30.0014364
-250	31.8686854	.179416483	31.0652836
-225	31.904614	.174127091	32.9812651
-200	31.9140806	.169039045	34.9966068
-175	31.9052842	.164301494	37.0439234
-150	31.9186474	.157424654	40.3510187
-125	31.9124674	.151156893	43.7667289
-100	31.9335226	.147485117	45.9730007
-75	31.9195136	.14163365	49.8502232
-50	31.7998161	.139206429	51.6037684
-25	31.8825161	.135736521	54.2758421
0	31.8799708	.132308111	57.1251115

POTENTIEL (mV)	IMPEDANCE REELLE	IMPEDANCE IMAGINAIRE
-400	31.7121272	3.13704595
-375	31.7840149	3.18389285
-350	31.808723	3.19918578
-325	31.8284365	3.24293748
-300	31.8514389	3.39893648
-275	31.8691634	3.46107364
-250	31.8686854	3.5219037
-225	31.904614	3.62888722
-200	31.9140806	3.73811609
-175	31.9052842	3.84590281
-150	31.9186474	4.0139048
-125	31.9124674	4.18034245
-100	31.9335226	4.28441587
-75	31.9195136	4.46142266
-50	31.7998161	4.5392126
-25	31.8825161	4.65525098
0	31.8799708	4.77587933

page 43



VALEUR ORIGINE DES POTENTIELS (mV) = -500
 VALEUR MAX DES POTENTIELS (mV) = 0
 VALEUR ORIGINE DE $1/(CAPA^2) (M^4/F^2)$ = 0
 VALEUR MAX DE $1/(CAPA^2) (M^4/F^2)$ = 60

POT. BANDE PLATE/ECS (V) = -.517158367
 TAUX DE DOPANT (AT./M^3) = 1.05978745E+27

MESURES D'IMPEDANCES

(Circuit RC serie)

REFERENCE ECHANTILLON = L304 / 8V/20DEG

FREQUENCE = 2000Hz

CONSTANT DIELECTRIQUE = 12 F/M

SURFACE ECHANTILLON = 1.26E-04 M2

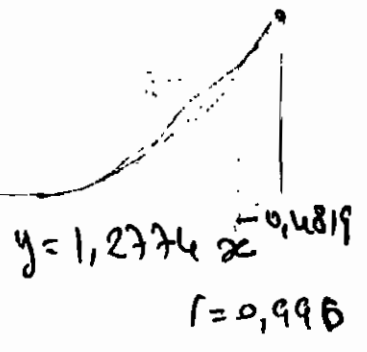
POT. (MV) RESIST. (OHM) CAPA (F/M^2) $1/(CAPA^2) (M^4/F^2)$

V. (MV)	RESIST. (OHM)	CAPA (F/M ²)	1/ (CAPA ²) (M ⁴ /F ²)
800	36.2352046	.142960333	48.929288
775	36.4733186	.13603729	54.0361074
750	36.5282879	.128564267	60.500567
725	36.6966498	.12210087	67.0752784
700	36.6275299	.118508056	71.2039769
675	36.6052319	.112994087	78.3228652
650	36.8753347	.108339153	85.1979466
625	37.0009175	.10475479	91.1260803
600	37.1300323	.100596841	98.816921
575	37.1390545	.0979873104	104.150252
550	37.0386074	.0954395689	109.785014
525	37.1486223	.0930549449	115.483906
500	37.1417457	.09125944	120.072735
475	37.0837796	.0899241468	123.665155
450	37.1389641	.0889710088	126.328974
425	37.1299054	.0873225008	131.143772
400	37.0980823	.0860160501	135.157767
375	37.1057233	.0851372134	137.962428
350	37.0580473	.0849594854	138.549341
325	37.0672699	.0848852075	138.782904
300	37.0433371	.0845350535	139.934995
275	37.0449476	.083991584	141.751759
250	36.8550767	.0843528409	140.540201
225	36.9616238	.083454133	143.583422
200	36.9407639	.0834960244	143.439382
175	36.8194033	.0839804396	141.789383
150	36.9096387	.0832110038	144.423703
125	36.9420274	.0829671078	145.274068
100	36.8946589	.0828078236	145.833487
75	36.8644859	.0820145244	148.668328
50	36.8284943	.0816653664	149.942301
25	36.624869	.081638803	150.039892
0	36.7300828	.0807951081	153.189806

page 44

25	36.524857	.0816318003	150.039892
0	36.7300828	.0807951081	153.189806
-25	36.5006833	.0817357675	149.684114
-50	36.5370464	.0814261849	150.824476
-75	36.461436	.0820370243	148.58679
-100	36.3202305	.0839286581	141.964396
-125	36.0967396	.0866094298	133.312122
-150	36.1070262	.0891120475	125.929406
-175	35.9804278	.0924517295	116.995705
-200	35.8686266	.0977433517	104.670801
-225	35.7609983	.10364378	93.0922462
-250	35.6281237	.111666135	80.1967987
-275	35.530233	.123409216	65.6605948
-300	35.4277124	.137654015	52.7742699
-325	35.1353248	.157445709	40.3402274
-350	35.0182042	.179038299	31.1966609
-375	34.9068382	.208557572	22.990482
-400	34.9644972	.233939541	18.2722796
-425	34.9009817	.27002328	13.715056
-450	34.7164197	.29348721	11.6097172
-475	34.6641664	.31647357	9.98447211
-500	34.5779418	.351132413	8.11069661
-525	34.444004	.358590868	7.7768111
-550	34.3681715	.374341745	7.13614192
-575	34.470902	.374129807	7.14422922
-600	34.4889952	.362708022	7.6012616
-625	34.547484	.349228662	8.19936538
-650	34.5581926	.320807877	9.71650221
-675	34.6911585	.298924138	11.1912353
-700	34.7497148	.272967192	13.4208214
-725	34.8354777	.253811445	15.5230694
-750	34.9549977	.234446872	18.1932847
-775	35.1048716	.220086316	20.644954
-800	35.0931185	.200252023	24.9371132
-825	35.1850554	.189756371	27.7720072

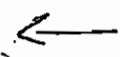
Page 45



$$\Sigma = 44,47$$

$$C_H = 0,556/m^2$$

$(1/C^2)^{1/2}$



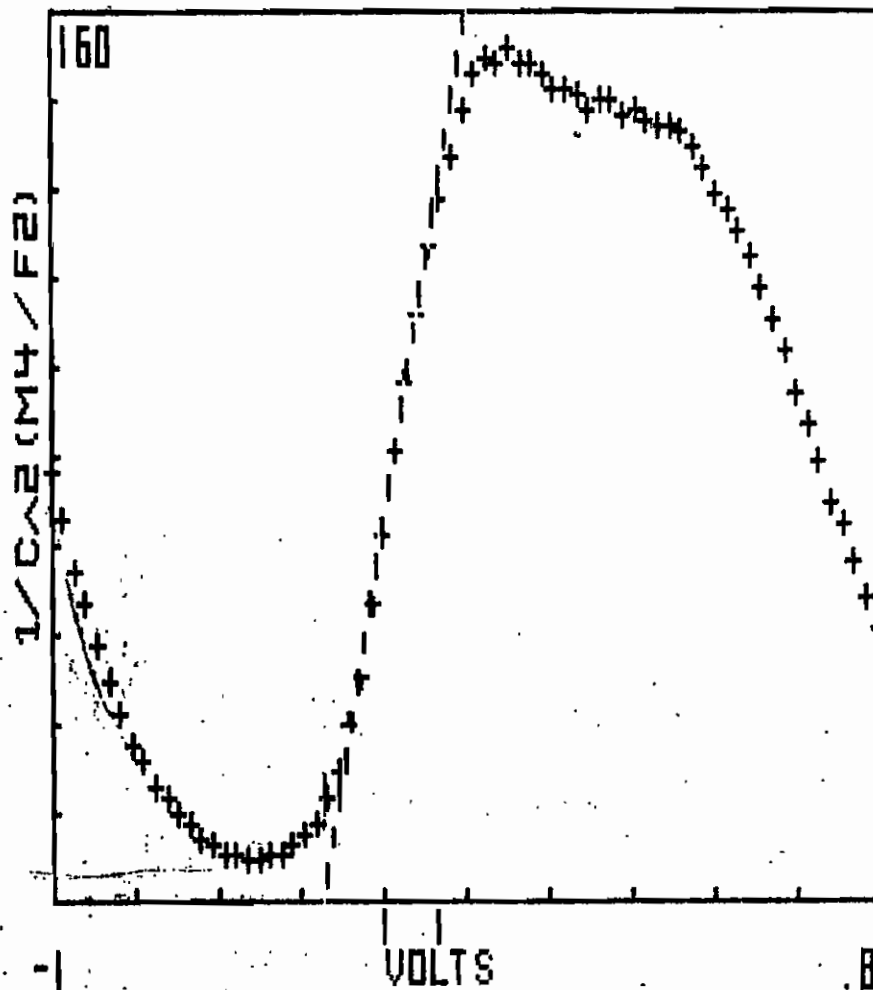
-825	35.1850554	.189756371	27.7720072
-850	35.3484314	.171977497	33.8109017
-875	35.3808489	.160332696	38.9005563
-900	35.5773322	.148100153	45.5920358
-925	35.7200386	.137297372	53.0487983
-950	35.5870842	.129937445	59.2285847
-975	35.8482941	.120759527	68.5736388
-1000	35.9483288	<u>.113898341</u>	77.0841705

10266

ENTIEL (mV)	IMPEDANCE REELLE	IMPEDANCE IMAGINAIRE
800	36.2352046	4.42002029
775	36.4733186	4.64495856
750	36.5282879	4.91495491
725	36.6966498	5.17512754
700	36.6275299	5.3320221
675	36.8052319	5.59221807
650	36.8753347	5.83249506
625	37.0008175	6.0320638
600	37.1300323	6.28138589
575	37.1390545	6.4486674
550	37.0386074	6.62081338
525	37.1486223	6.7904782
500	37.1417457	6.92407903
475	37.0837796	7.02689541
450	37.1389641	7.10217388
425	37.1298054	7.23625147
400	37.0980823	7.34615893
375	37.1057233	7.4219877
350	37.0580473	7.4375165
325	37.0672699	7.44402462
300	37.0433371	7.47485864
275	37.0449476	7.52322489
250	36.8550767	7.49100525
225	36.9616238	7.57167503
200	36.9407639	7.56787619
175	36.8194033	7.52422323
150	36.9096387	7.59379824
125	36.9420274	7.61612152
100	36.8946589	7.63077143
75	36.8644859	7.70458134
50	36.8284943	7.73752207
25	36.624869	7.74003968
0	36.7300828	7.82086428
-25	36.5006833	7.73085754
-50	36.5370464	7.76025028
-75	36.461436	7.70246824
-100	36.3202305	7.52886545
-125	36.0967396	7.29582882
-150	36.1070262	7.09093319
-175	35.9804278	6.83478371
-200	35.8686266	6.46476271
-225	35.7609983	6.0967245
-250	35.6281237	5.65872165
-275	35.530233	5.12026244
-300	35.4277124	4.59040425
-325	35.1353248	4.01336803
-350	35.0182042	3.52934304
-375	34.9068382	3.02979925

-300	35.4277129	4.01336803
-325	35.1353248	3.52934304
-350	35.0182042	3.02979925
-375	34.9068382	2.70107213
-400	34.9644972	2.34012258
-425	34.9009817	2.15303275
-450	34.7164197	1.99665196
-475	34.6641664	1.79957062
-500	34.5779418	1.76214073
-525	34.444004	1.68799655
-550	34.3681715	1.68895277
-575	34.470902	1.74213841
-600	34.4889952	1.80938062
-625	34.547484	1.969676
-650	34.5581926	2.1138727
-675	34.6911585	2.3148847
-700	34.7497148	2.46959449
-725	34.8354777	2.69522715
-750	34.9549977	2.87108975
-775	35.1048716	3.15546163
-800	35.0931185	3.32999399
-825	35.1850554	3.67424568
-850	35.3484314	3.94110242
-875	35.3809489	4.26662387
-900	35.5773322	4.60232825
-925	35.7200386	4.8630137
-950	35.5870842	5.23261056
-975	35.8482941	5.54782071
-1000	35.9483288	

log 1/2



VALEUR ORIGINE DES POTENTIELS (mV) = -1000
 VALEUR MAX DES POTENTIELS (mV) = 800
 VALEUR ORIGINE DE $1/(CAP^2) (M^4/F^2) = 0$
 VALEUR MAX DE $1/(CAP^2) (M^4/F^2) = 160$

(V.F. 200 V)