

UNIVERSITE DE OUARGLA



FACULTÉ DES SCIENCES ET SCIENCES DE L'INGÉNIEUR

N° d'ordre :

N° de série :

DÉPARTEMENT DE PHYSIQUE

Mémoire

Présenté pour l'obtention du diplôme de
MAGISTER

Spécialité : Physique

Option : Physique des matériaux

Par : CHELGHEM Fatiha

Thème

**Etude de l'influence conjuguée du
traitement thermique de revenu et du
gradient de température sur la corrosivité
des concentriques en milieu albien**

Soutenu publiquement le :

Devant le jury :

• Mr.	M.SAIDI	M.C	Université de Ouargla	Président
• Mr.	A.BOUMAZA	M.C.	C.U. de Khenchela	Examineur
• Mr.	N.SETTOU	M.C.	Université de Ouargla	Examineur
• Mr.	N.BOUZID	M.C.	Université de Ouargla	Rapporteur
• Mr.	Touhami LANEZ	Prof.	Université de Ouargla	Co-Rapporteur

Année Universitaire 2004/2005

Dédicace

Je dédie ce travail à :

Ma mère pour ses encouragements,

Mon père pour sa patience et ces conseils

Mes frères et sœurs Mohamed, Bouddjma, Chikh ,Brahim,

Noureddine,Masouda ,Zohra ,Aicha et Ghania.

A mo n oncle : Abdelkader

Tous les enseignements de l'université de Ouargla

Mes amis et collègue et tous ceux qui m'ont encouragé.

REMERCIEMENTS

Ce travail a été réalisé aux laboratoires de sciences des matériaux et de chimie analytique de l'université de Ouargla. Je tiens à exprimer mes profonds remerciements à toute personne ayant contribué à mener à terme ce modeste travail.

Je tiens à remercier Mr. Bouzid Noureddine, maître de conférence à l'université de Ouargla et directeur de ma thèse de m'avoir confié ce travail, de l'aide précieuse qu'il n'a jamais cessée de m'apporter tout au long de ce travail, et de l'ambiance amicale dans laquelle s'est déroulée mes recherches.

Je remercie également, Monsieur Lanez Touhami professeur à l'université de Ouargla et co-promoteur de ma mémoire de m'avoir permis de réaliser les expériences électrochimiques, pour l'intérêt tout particulier qu'il a apporté à mon travail ; qu'il soit assuré de ma profonde considération..

J'adresse, mes très vifs remerciements à Monsieur **Noureddine SETTOU** maître de conférence à l'université de Ouargla d'avoir accepté de participer au jury de ma thèse.

Que Monsieur **Moukhtar SAIDI** maître de conférence à l'université de Ouargla, soit assuré de ma profonde considération pour avoir accepté de présider le jury de ma thèse et de m'avoir soutenu moralement tout au long de ma recherche.

J'exprime mes sincères remerciements à Monsieur **Abdecharif BOUMAZA**, maître de conférence au centre universitaire de khenchela d'avoir accepté de se joindre au jury de ma thèse.

Que mademoiselle Nadjat ROUAG, professeur à l'université de Contantine, soit vivement remerciée pour m'avoir aidé à réaliser les traitements thermiques de revenu au laboratoire de physique de matériaux

Je tiens également à remercier messieurs, Rachid. Ghariani responsable du laboratoire de sciences des matériaux pour m'avoir aidé à réaliser les expériences de diffraction des Rayons X, et Nacerddine Arbaoui ingénieur à la SONATRACH pour son aide matérielle.

Je rends un hommage particulier à mademoiselle Messaouda Dakmouche pour son aide précieuse et sa contribution à la réalisation des essais potentiostatiques au laboratoire de chimie analytique.

Je remercie tous ceux et toutes celles qui m'ont aidé de près ou de loin à réaliser ce travail et spécialement Messieurs A.Mamanou, M.belfar, S.Mamri et D.Gheliani.

J'exprime enfin mes vifs remerciements à tous mes enseignants de graduation et de post graduation et à tous mes collègues de promotion, A. Bentouila, M. Foughali, Z.Ayat, H.Lorgot , Z.Karima, R.Zouari ,Z.Rahmani, R.Charbi, K.Mokadem, ,N.Zoubeidi et Mesdames H.Daoui, S.Bensaci pour l'ambiance amicale, pour les encouragements et le respect qu'ils m'ont témoignés.

SOMMAIRE

INTRODUCTION GENERALE	1
------------------------------------	----------

CHAPITRE I

Etude bibliographique et théorique	3
------------------------------------	---

Introduction	3
I- Recherche bibliographique et collecte des données	3
I.1. Définition de la problématique	3
I.2. Objectifs de la présente étude	9
II. Propriétés générales des aciers	11
II.1. Transformations allotropiques du fer pur	11
II.2. Influence des éléments d'alliage	11
II.2.1 Rôle du carbone	11
II.2.2. éléments d'accompagnement.....	12
II.2.3. Impuretés.....	13
II.3. Les Traitements thermiques des aciers	13
II.3.1. L'homogénéisation après la solidification	13
II.3.2. L' austénitisation	13
II.3.3. Le revenu après trempe	13
III. Généralité de phénomène de la corrosion	16
III.1. Types de la corrosion.....	16
III.2. Différentes formes des corrosions.....	17
III.3. Facteurs de corrosion.....	18
III.3.1. Facteurs d'attaque.....	18
III.3.2. Facteurs métallurgiques.....	18
III.4. Corrosion électrochimique.....	19
III.4.1. Courbes de polarisation.....	19
III.4.2. Equation de Butler – volmer.....	20
III.4.3. Coefficients de Tafel.....	21
III.4.3.1. Mesure des paramètres cinétiques d'une réaction de corrosion par le tracé des droites de Tafel	21

CHAPITRE II

Méthodes et Techniques expérimentales 23

II.1. Matériau étudié	23
II.2. Traitement thermique de revenu.....	23
II.3. Observations métallographiques.....	24
II.4. Diffraction des Rayons X.....	24
II.5. Essais électrochimiques	25
II.5.1. milieu corrosif ou électrolyte.....	26

CHAPITRE III

Résultats et discussions. 28

Introduction.....	28
III.1. Analyse physico-chimique de l'eau	31
III.2. Observation métallographique	31
III.3. Influence du gradient de température sur la vitesse de corrosion	33
III.4. Influence du traitement thermique de revenu sur la vitesse de corrosion...	36
III.5. Influence conjuguée du traitement thermique de revenu (T_R) et du gradient (ΔT) sur la vitesse de corrosion	41

CONCLUSION GENERALE 44

ANNEXES 45

ANNEXES I :Banc d'essai sous transfert de chaleur 45

ANNEXES II : Courbes de polarisation et de Tafel : Cas d'une eau non traitée
et traitée **46**

Références bibliographiques

Liste des figures

Liste des tableaux

liste des abréviations

Résumé

Parmi les facteurs de corrosion pouvant être la cause de la destruction des concentriques qui sont des aciers de différentes provenances, le facteur contraintes résiduelles jouait un rôle très important ; le gradient de température auquel sont soumis les concentriques, qui varie en fonction de la profondeur des puits producteurs d'eau de l'Albien s'avère lui aussi un facteur non négligeable quant à la tenue à la corrosion des aciers.

Cette étude qui est consacrée à l'effet de l'action conjuguée du gradient de température et du traitement de revenu en milieu eau de l'Albien sur des concentriques de norme API 5 CT Grade N80 de structure martensitique a montré l'inefficacité des traitements par les inhibiteurs de corrosion utilisés actuellement par le service de production d'eau de la région de HAUOD BERKAOUI. Le revenu imposé à l'acier permet d'améliorer la tenue à la corrosion de ce dernier sans toutes fois éradiquer ce fléau.

Mots clés: Corrosion - Concentrique- Eau de l'Albien- Gradient de température- Traitement thermique de revenu, Martensite- Contraintes internes- Vitesse de corrosion.

Abstract:

Among the factors of corrosion which can be the cause of the destruction of macaronis which are made from steels of various sources, the residual stresses factor plays a very Important role.

The temperature gradient to which the macaronis are subjected, which depends on the depth of the water –producing wells of the Albien ,proves also to be a non negligible factor as far as the behavior of steels to corrosion is concerned .

This study which is devoted to the effect of the combined action of the temperature gradient and the income treatment in an Albien water environment on the API 5CT Grade N80 norm macaronis ,which have a martensitic structure ,showed the inefficiency of the corrosion inhibitors used currently by water production services of the Haoud Berkaoui area .

The income treatment on this steel Improves its behavior to corrosion without however eliminating this harmful effected totally.

ملخص:

من بين العوامل التي يمكنها أن تتسبب في إتلاف أنابيب المكار وني، معامل الإجهادات الداخلية، الذي له دورا هاما، بالإضافة إلى ذلك معامل التدرج في الحرارة التي تخضع له هذه الأنابيب، هذا الأخير يتغير بدلالة عمق الأبار المنتجة لماء ألبيان(Albien).

في هذا العمل درسنا التأثير المزدوج للتدرج في الحرارة و المعالجة الحرارية في وسط ماء ألبيان (Albien) على تآكل أنابيب المكار وني ذات البنية المارتنسيكية (API 5CT grade N80) حيث وجدنا عدم فعالية المعالجة بمثبطات التآكل (Inhibiteur) المستعملة عادة في قسم إنتاج الماء بمنطقة حوض بر كاوي، و من جهة أخرى فعالية التسخين للفولاذ الذي يسمح بتقليل سرعة التآكل بشكل جد معتبر.

Introduction Générale

Le maintien de pression au niveau des champs de Haoud Berkaoui, de Guellala et de Benkahla se faisait jadis en utilisant l'eau du Jurassique, c'est une eau qui était traitée individuellement au niveau de chaque tête de puits par des inhibiteurs et des bactéricides, ce traitement qui se faisait à l'aide de pompes doseuses était réalisé afin de lutter contre les problèmes suivants :

- ☞ Corrosion des installations due à une très forte concentration en H_2S dans l'eau.
- ☞ bouchages des puits injecteurs par le sulfure de fer (FeS) et des problèmes sur les garnitures mécaniques des motopompes du à l'agressivité de l'eau du jurassique. Suite à ces problèmes cette eau fût abandonnée et remplacée par celle de l'Albien. Cette opération a engendrée un problème d'ordre économique du au fait que et la durée de vie des concentrique prévue initialement pour cinq années a été fortement réduite pour ne plus dépasser les deux années, au bout desquelles il a été constaté une dégradation très avancée de ces derniers [1].

Les dégâts causés par une corrosion généralisée des concentriques avec percements apparents par endroit a suscité l'intérêt de nombreux chercheurs.

Les phénomènes de corrosion très avancée des concentrique ont fait l'objet de plusieurs études, très récentes dans leur majorité. Il a été montré que le revenu imposé aux aciers à des températures ne dépassant pas les $500^{\circ}C$ a permis de réduire de manière considérable la vitesse de corrosion de ces derniers; cet état de fait a été attribué à la l'existence de contraintes internes [2].

La simulation numérique par la méthode le volume finis, des écoulements à l'intérieur des concentriques [3], a permis de montrer l'existence d'un gradient de température variable le long de la profondeur des puits, et de confirmer les remarques données par les responsables du service de maintien de pression lors de notre collecte d'informations sur les conditions d'exploitation des puits

Des études électrochimiques en présence du gradient de températures ont montrées que ce dernier entraîne une augmentation considérable de la vitesse de corrosion [4].

Notre étude a pour objectif de montrer l'action conjuguée du traitement thermique de revenu et du gradient de température sur la tenue à la corrosion des concentriques en milieu

Introduction Générale

Albien. Le travail réalisé se divise en trois grands chapitres précédés d'une introduction générale.

Le premier chapitre est consacré à l'étude bibliographique et théorique dans lequel seront détaillés les principaux résultats trouvés en littérature et concernant le sujet d'une part, suivis d'un rappel théorique sur les propriétés des aciers et les phénomènes de corrosion d'autre part.

Dans le deuxième chapitre, nous définirons notre acier et nous développerons les principales techniques expérimentales employées dans ce travail.

Le troisième chapitre sera consacré au résumé des différents résultats obtenus avec leur discussion détaillée ; il sera suivi par une conclusion générale.

Chapitre I : Etude bibliographique et théorique

Introduction

Le présent chapitre se divise en deux parties, dans la première nous allons tenter de faire une étude bibliographique complète appuyée par différentes données recueillies sur site, et d'autre part une étude théorique concernant les différentes propriétés des aciers et leur comportement vis-à-vis des milieux corrosifs.

I. Recherche bibliographique et collecte des données

I.1. Définition de la problématique

L'eau d'albien est utilisée dans la région de Haoud Berkauï pour le lavage des puits salés, dans les piscines des tours de refroidissement et dans les échangeurs de chaleurs, cette eau est également réinjectée dans le gisement pour assurer le maintien de pression. Plusieurs puits producteurs, dont l'aspect général est donné par les figures I-1 et I-2, sont forés dans cette région (15 au total), parmi lesquels celui de GLAHA1 et GLAHA2. L'eau produite est ensuite filtrée et acheminée vers les puits injecteurs (32 au total)

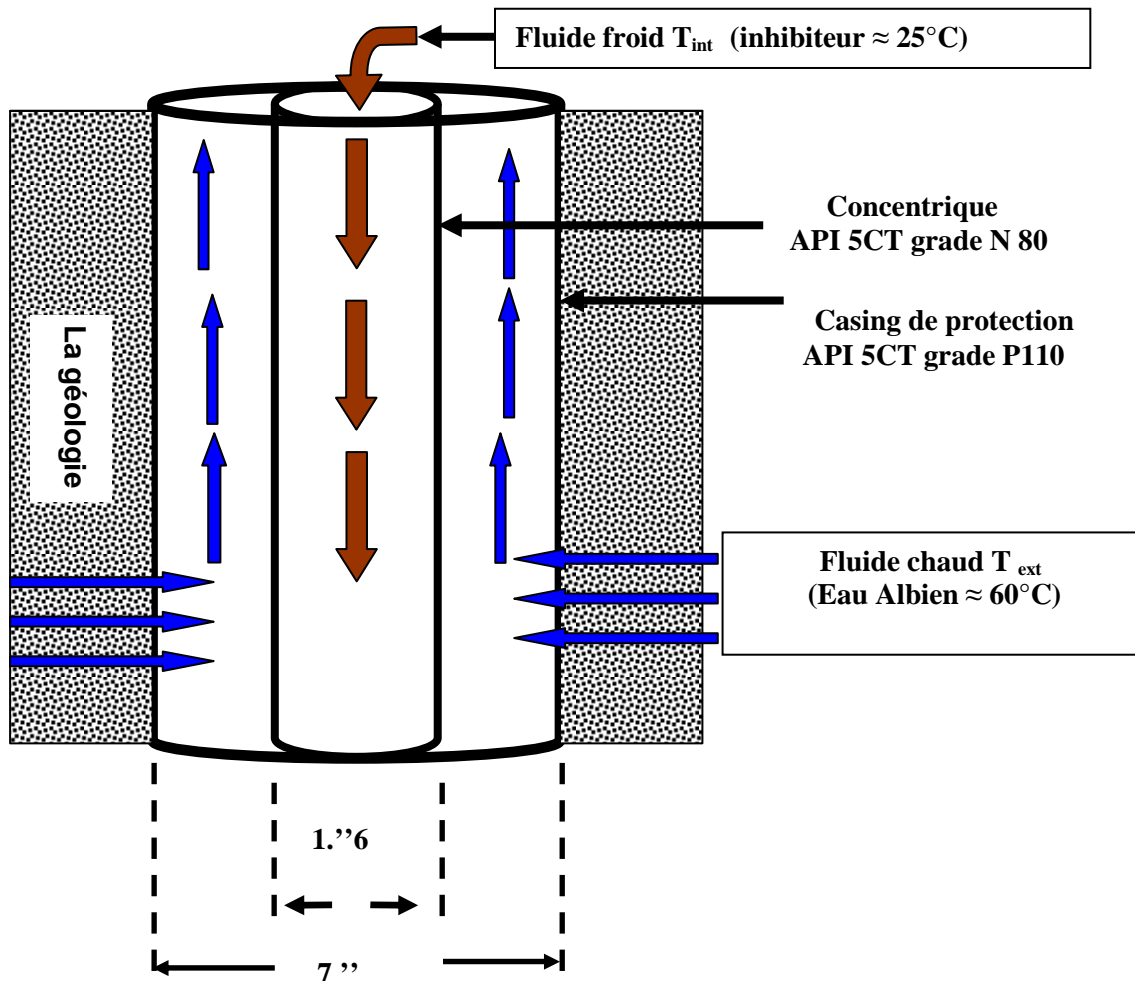


Figure I.1 : Schéma d'un puits producteur d'eau

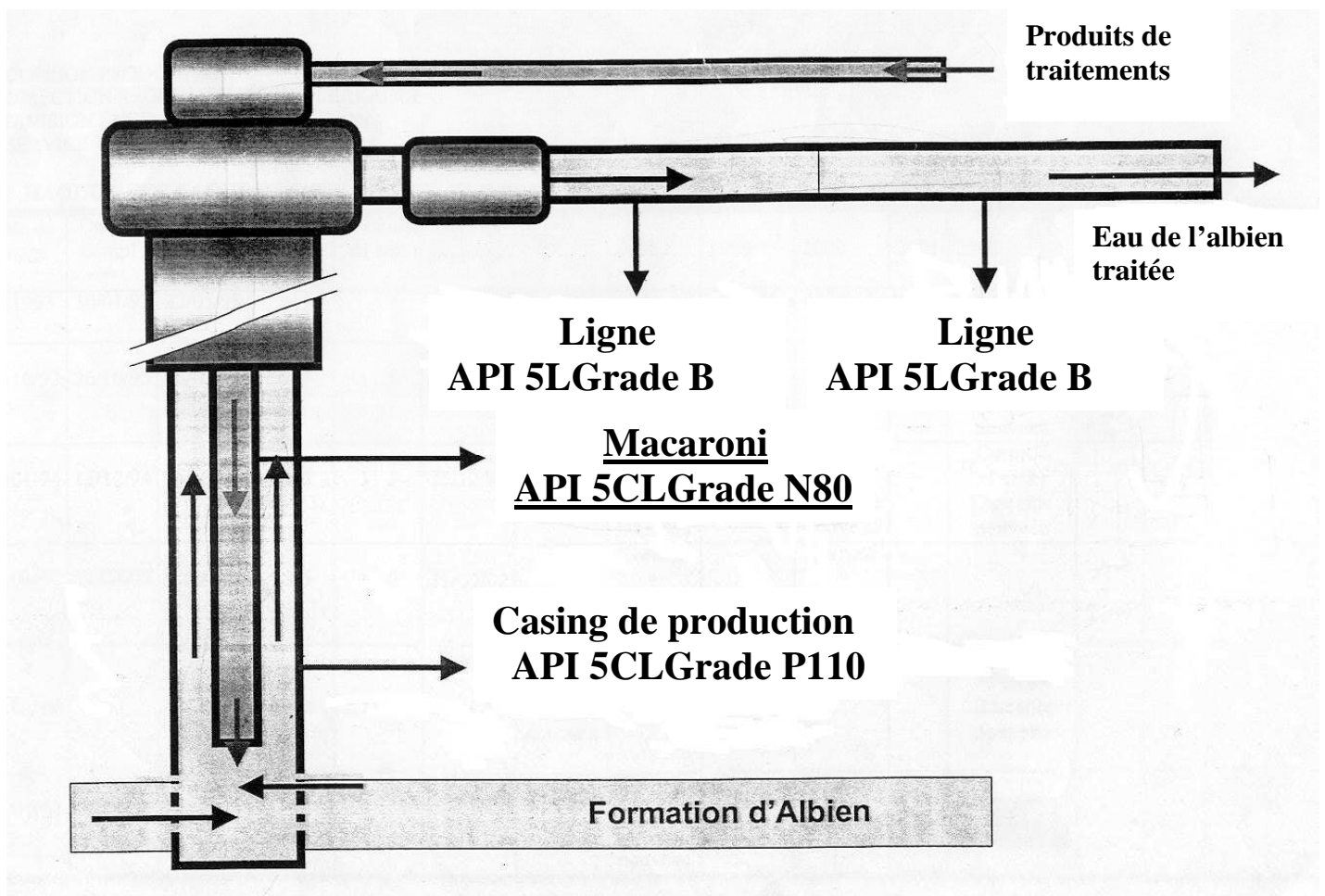


Figure I.2 : Schéma synoptique d'un puits producteur d'eau

Dans le but d'augmenter la capacité d'injection, les puits ont été équipés de concentriques de longueur et de diamètres égaux respectivement à 950 cm à 4.216 cm (1,66 pouces) mis bout à bout par filetage pour atteindre le fond du puits dont la profondeur avoisine les 1200 mètres, ces concentriques sont en aciers de spécification internationale API (American Petroleum Institut) 5CT Grade N80.

L'objectif de cette opération est l'acheminement des inhibiteurs et des bactéricides pour réduire le fléau de la corrosion qui ronge ces concentriques.

Les renseignements recueillis auprès du service de maintien de pression nous ont permis de savoir que le régime de fonctionnement des puits sont considérés comme turbulent, que la température au fond du puits avoisinerait les 60°C et qu'il existe un gradient de température de l'ordre à 3°C approximativement tous les 100 mètres [5]. Ce gradient est défini par

$$\Delta T = T_{\text{ext}} - T_{\text{int}} \quad (\text{voir figure I.1})$$

La durée de vie de ces concentriques prévue initialement pour 5 années a chuté de manière drastique pour ne plus dépasser les deux années au bout desquelles ces derniers sont en état de dégradation très avancé. Le coût de l'opération de traitement de l'eau par les inhibiteurs et les bactéricides s'élève à 300000 dollars US annuellement, ce qui est une charge financière énorme que doit supporter la compagnie de la SONATRACH.

Pour tenter de cerner ce problème et d'apporter des remèdes à ce fléau, plusieurs études ont été réalisées, les principales sont les suivantes :

La première étude réalisée par A. Mamanou [2] a montré que le revenu des aciers à des températures inférieures à 450 °C pendant une heure permettait d'améliorer de manière considérable la tenue à la corrosion de ces derniers (voir tableau I-1 et figure I-3).

La diminution de la valeur de la vitesse de corrosion a été attribuée par [2] à un phénomène de relâchement de contraintes et non à un phénomène dû à une quelconque transformation structurale à l'exception cependant des grandes températures pour lesquelles il note une légère augmentation de la vitesse de corrosion. Cette augmentation a été attribuée au fait qu'à ces températures l'acier qui était martensitique au départ, se transforme en alliage biphasé (ferrito-perlitique) et son comportement est modifié.

Température de revenu (c°)	Brut	200	300	400	500
Vitesse de corrosion (mm / an)	0.011	0.001	0.003	0.002	0.001

Tableau I-1 : Valeurs des vitesses de corrosion en fonction de la température de revenu
Selon [2]

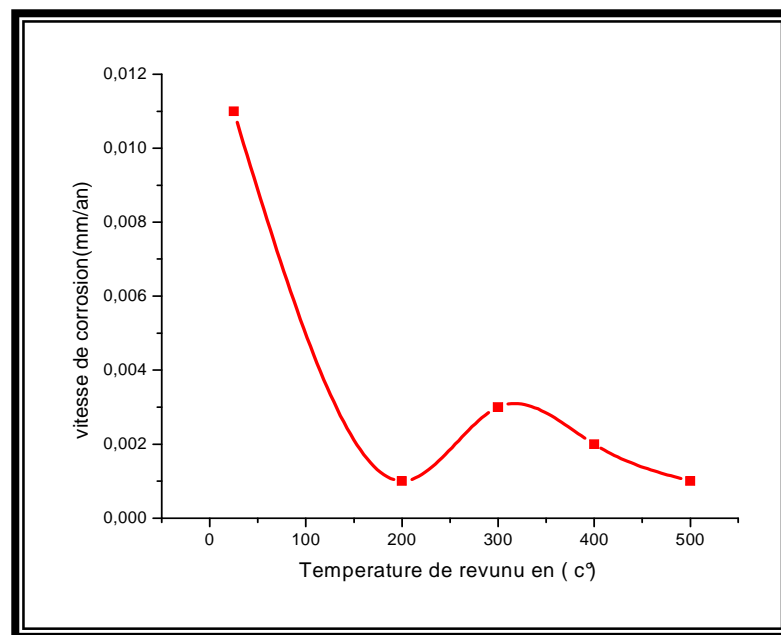


Figure I-3 : Evolution de la vitesse de corrosion en fonction de la température de revenu de l'acier API 5CT N 80, selon [2]

La deuxième étude réalisée par L. Mecheri [3], a permis de mettre clairement en évidence, par simulation des écoulements à l'aide de la méthode de volume finis, qu'il y a présence d'un gradient de température le long du tube lequel est variable le long de la profondeur du puits (voir tableau I-2) ; ces résultats sont confortés par les renseignements qui nous ont été fournis par le service de maintien de pression.

Profondeur (m)	Température annulaire(c°)	Température axisymétrique (c°)	Gradient de la Température (c°)
0	25	25	0
30	34,3	25,0003	9,2997
80	35,22	25,0058	10,2142
200	37,53	25,14	12,39
400	40,93	25,93	15
800	47,84	29,80	18,04
1000	51,06	32,45	18,61
1200	54,20	35,47	18,73
1400	57,39	39,05	18,34
1500	58,69	40,79	17,9
1600	60	60	0

Tableau I-2 : les Valeurs de température aux différentes profondeurs

Les résultats obtenus par [3] ont été exploité par N. Arbaoui [4] , Monsieur N- Settou (Département de mécanique et électronique), ce dernier a développé un logiciel de calcul nommé ECLAM permettant de définir le profil de température le long du puits, les différentes valeurs du gradient de température trouvées sont rassemblés dans le tableau I-3.

Les tests électrochimiques en milieu eau de l'Albien et en présence du gradient de température ont montrés que la vitesse de corrosion croit en fonction du gradient croissant (voir figure I-4) .Ces résultats, qui sont les mêmes quelque soit la nature de l'eau (traitée ou non), ont permis à [4] d'attribuer la dégradation avancée des concentriques à la variation de la température le long du puits.

Profondeur (m)	Gradient De la température (°c)	Profondeur (m)	Gradient de la température (°c)
1184.00	0	586.65	13.03827
1084.91	2.96053	486.99	14.15497
985.26	5.715607	444.00	14.5525
980.00	5.745364	387.34	15.07663
885.60	8.073761	287.69	15.83722
785.97	10.04926	214.00	16.30134
694.00	11.55914	188.03	16.46490
686.30	11.68561	88.38	16.98294
614.00	12.6669	0	0

Tableau I -3 : Gradient de la température le long du puits GLAHA2

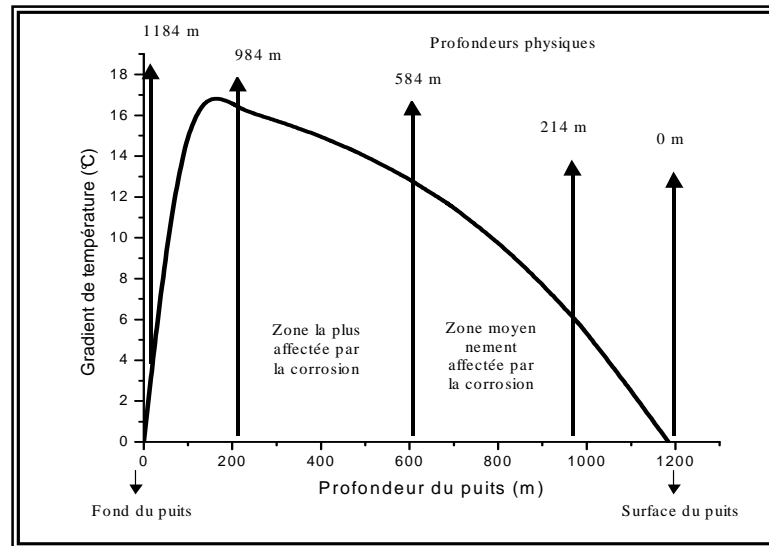


Figure I-4 : Gradient de la température le long d'un puits producteur d'eau

I.2. Objectifs de la présente étude :

Les différents résultats trouvés en littérature nous ont conduit à penser aborder le problème de manière globale c'est-à-dire que nous devons tenir en compte, d'une part, l'effet du traitement thermique de revenu, lequel s'est avéré bénéfique, et d'autre part l'effet du gradient de température puisque ce dernier est imposé à l'acier dans les conditions réelles d'exploitation. La variation de la température en fonction de la profondeur dans les puits est la conséquence de la géologie. Le profile de température d'un puit injecteur (figure I-5) et d'un puits producteur (figure I-6) est déterminé par la thermométrie qui permet de définir les paramètres suivants : [6]

- ☞ Le gradient géothermique.
- ☞ La géométrie du système.
- ☞ Le temps de production.
- ☞ La formation et la propriété thermique de fluides.
- ☞ La profondeur de l'intervalle de la production.

L'objectif de notre travail est de voir l'action cumulée de deux paramètres cités plus avant, sur la tenue à la corrosion des aciers.

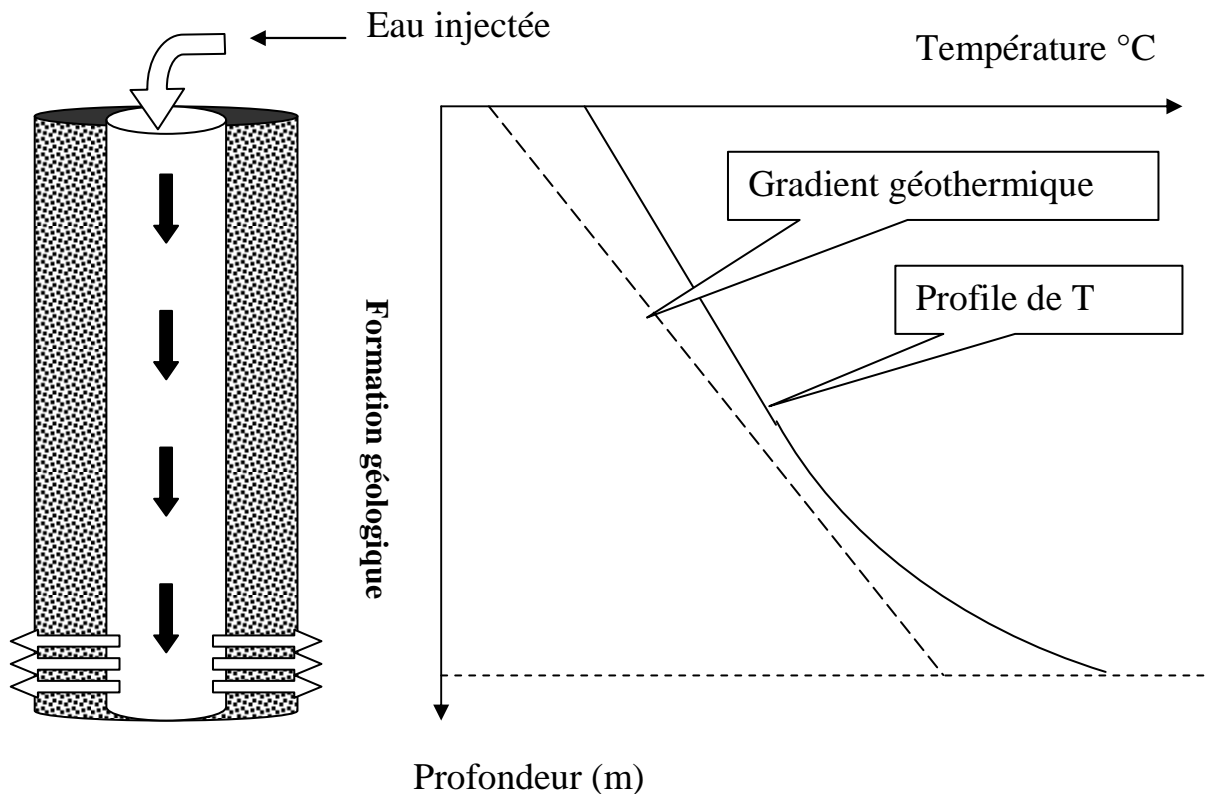


Figure I- 5 : Profil de température d'un puits injecteur d'eau

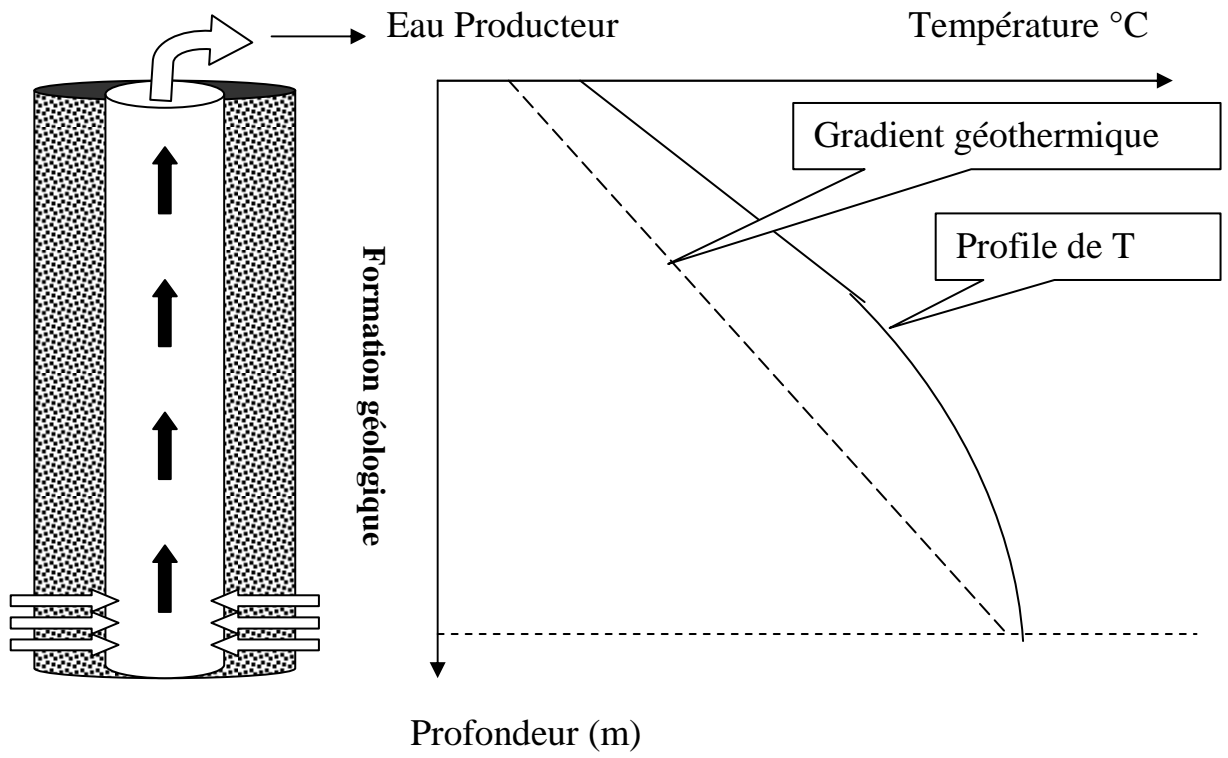


Figure I-6 : Profil de température d'un puits producteur d'eau

II. Propriétés générales des aciers :

II.1. Transformations allotropiques du fer pur :

Le fer est présent sous différentes structures cristallines. La nature de ces structures dépend uniquement de la température ; en pratique le fer se présente sous deux formes allotropiques différentes ; à chacune d'elle correspondent des propriétés physiques et mécaniques différentes.

- Pour des températures inférieures à 910 °C, le fer possède une structure cubique centrée que l'on désigne sous le nom de Ferrite α ou Fe_{α}

- Entre 910 °C et 1400 °C, la structure devient cubique à faces centrées, que l'on désigne sous le nom d'austénite ou Fe_{γ}

- Entre 1400 °C et le point de fusion (1530 °C) la structure stable est à nouveau cubique centrée, elle est désignée sous le nom de Ferrite δ ou Fe_{δ} pour distinguer les domaines de température [7].

II.2. Influence des éléments d'alliage :

Les aciers d'usage général de base sont des aciers au carbone, ils contiennent toutefois quelques autres éléments, présents pour différentes raisons [7]..

II.2.1 Rôle du carbone :

La présence du carbone confère aux aciers leurs propriétés. Comme la voie principale de fabrication passe par la fonte et que l'on brûle le carbone excédentaire, le carbone n'a pas besoin d'être ajouté comme addition, mais il doit être réglé à la valeur désirée.

Un certain optimum économique de la fabrication s'est longtemps trouvé aux alentours de la teneur $C = 0.40 \%$, ce qui correspond aux aciers mi-durs, mais les exigences de ductilité, de ténacité et de soudabilité ont entraîné le développement prioritaire d'aciers à basse teneur en carbone.

Le carbone, à cette teneur, est totalement soluble dans l'austénite à haute température. Dès l'apparition de la ferrite, la limite de solubilité apparaît. Le diagramme Fe – C montre qu'aux environs de 700°C il peut y avoir au maximum 0.03% de carbone en solution dans la ferrite; l'excès de carbone donnera de la cémentite Fe_3C . La cémentite elle même apparaît sous diverses formes suivant les conditions de refroidissement.

Dans la ferrite, le carbone dissous à 700°C restera en sursaturation à l'ambiante, c'est – à- dire en insertion. [8]

II.2.2. Eléments d'accompagnement :

L'acier n'est pas un alliage fer-carbone pur; un certain nombre d'éléments sont toujours présents soit qu'ils proviennent des minerais ou des ferrailles.

Les deux éléments que l'on retrouve toujours sont le silicium et le manganèse. Les effets du manganèse et du silicium sont les suivantes.

- ✓ **Manganèse** : Il augmente la proportion de perlite dans les aciers à structure ferrite-perlite et il se substitue au fer dans la cémentite. De plus, il a un effet durcissant en solution solide. Enfin, le manganèse a un effet très favorable sur la résistance à la rupture fragile.
- ✓ **Silicium** : Son effet durcissant en solution solide est aussi fort que celui du manganèse, mais les additions sont limitées par des raisons d'élaboration. De plus, le silicium augmente la trempabilité que l'on doit contrôler pour améliorer la soudabilité [9].

Néanmoins, pour les produits épais ou pour des propriétés particulières, on est amené à ajouter un ou plusieurs des éléments suivants :

- ✓ **Le chrome** (jusqu'à un peu plus de 2%), pour augmenter les caractéristiques mécaniques à l'ambiante et la tenue à chaud.
- ✓ **Le nickel**, pour améliorer la résistance à la rupture fragile; il permet de constituer la famille spéciale des aciers au nickel pour emplois à basse température.
- ✓ **Le cuivre** (jusqu'à 1-1.5%), pour augmenter les caractéristiques mécaniques et pour modifier la tenue à la corrosion.
- ✓ **Le molybdène** (jusqu'à 0.5%), pour augmenter la trempabilité des tôles très épaisses ou pour ajuster les propriétés des aciers trempés – revenus.

On peut combiner plusieurs de ces éléments d'alliage, mais il s'agit de nuances à usage particulier, car l'on préfère, pour des questions de commodité d'emploi, éviter les éléments coûteux et utiliser d'autres procédés de durcissement [10].

II.2.3. Impuretés :

Les principales impuretés que l'on trouve dans l'acier fini sont celles qui proviennent des minerais, ou des gaz, c'est le cas du soufre et du phosphore.

- ✓ **Soufre** : contrairement au phosphore, le soufre n'est pratiquement pas soluble dans l'acier, non seulement à température ambiante mais dans presque toutes les conditions. Le soufre précipite donc dès la solidification ou peu après [9].
- ✓ **Phosphore** : C'est une impureté résiduelle, cet élément est présent en solution solide de substitution. Il durcit la ferrite et dégrade sa résistance à la rupture fragile [7].

II.3. Les Traitements thermiques des aciers :

Dans le cas des aciers faiblement alliés, la température à laquelle chaque traitement est fait, est indiqué dans le diagramme de phase Fe-C, (Figure I-7). En fait, de faibles concentrations d'éléments d'alliages (autre que le carbone) n'ont pas une très forte influence sur ce diagramme de phase, et ce dernier est applicable également à ces alliages-là.

II.3.1. L'homogénéisation après la solidification : Lors de la première solidification se manifestent des phénomènes de ségrégation mineure, les éléments alliés et le carbone sont répartis de manière hétérogène à l'échelle du grain austénitique. Pour éliminer, ou au moins réduire cette hétérogénéité, on fait appel à un recuit d'homogénéisation. Il consiste à maintenir le métal dans le domaine austénitique. L'homogénéisation a donc lieu par diffusion en phase γ à une vitesse d'autant plus grande que la température de maintien est plus élevée [11].

II.3.2. L' austénitisation : L'austénitisation est l'opération qui a pour but de créer une répartition homogène des éléments d'alliages des aciers avant la trempe. Elle est typiquement conduite à des températures comprises entre 300°C à 320 °C et en dessus de A_{c3} ce qui est le cas des aciers hypo-eutectoïdes. Pour les aciers hypereutectoïdes, la température A_{c3} correspond à la température eutectoïde.

II.3.3. Le revenu après trempe : Dans le cas des aciers martensitiques et une fois la formation de la martensite est complète, la structure est très cassante. Pour arriver à un état

intermédiaire où la résistance est élevée, mais la résilience et la ductilité sont augmentées, on conduit un traitement de revenu qui, selon la température engendre les changements suivants :

- ✓ Jusqu'à 200°C, le carbone enfermé dans la martensite précipite sous forme des carbures du type Fe_2C . Par ce faite, la martensite réduit sa distorsion tétragonale .Ce changement est accompagné d'un changement en volume qui risque à mener à une distorsion de la pièce.
- ✓ Entre 200 et 350°C, le carbone précipite sous forme de carbures du type Fe_3C qui engendrent également une réduction de la distorsion tétragonale. Alors que les contraintes internes sont réduites. Il en résulte une structure moins résistante que dans l'état trempé .

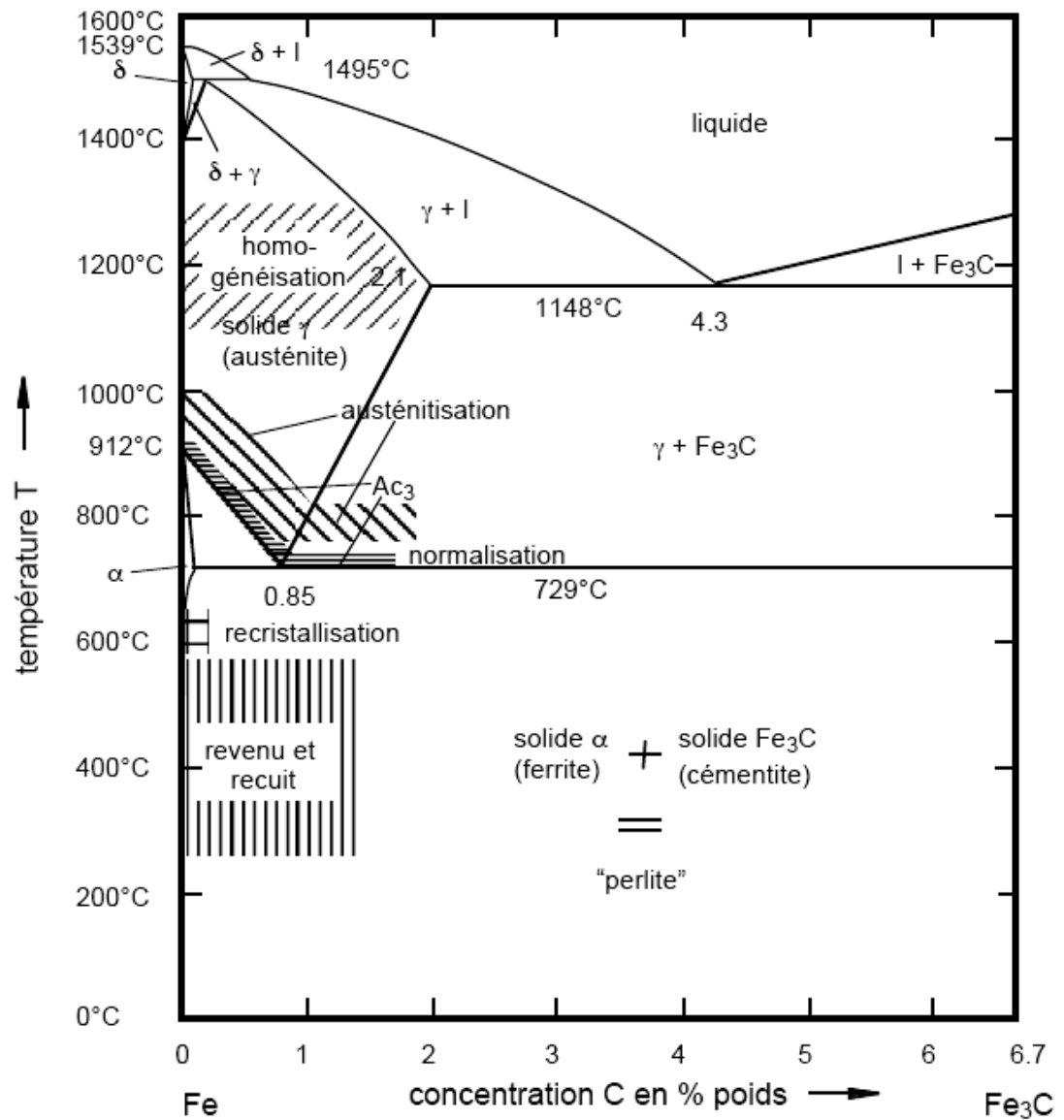


Figure I-7 : Diagramme de phases Fe-C .

III. Généralités sur les phénomènes de corrosion :

III.1. Types de la corrosion : [12]

La corrosion d'un métal ou d'un alliage peut se développer suivant différents processus qui caractérisent chacun un type de corrosion :

- ✓ **corrosion chimique** : Il s'agit d'une réaction hétérogène entre une phase solide, le métal, et une phase gazeuse ou liquide .Dans le cas où le réactif est gazeux, il apparaît un phénomène dit la corrosion sèche .Si le réactif est un liquide, il se produit une attaque du métal avec formation d'un produit de corrosion à sa surface même.

- ✓ **corrosion biochimique** : c'est l'attaque bactérienne des métaux, en particulier dans les canalisations enterrées.

- ✓ **corrosion électrochimique** : Elle se produit lorsque' il existe une hétérogénéité, soit dans le métal, soit dans le réactif. L'existence de ces hétérogénéités détermine la formation d'une pile, un courant électrique circule alors entre anode et cathode et les zones qui constituent les anodes sont attaquées.

III.2. Différentes formes des corrosions :

La corrosion dépend d'un système extrêmement complexe, dont les effets se manifestent, en pratique, sous une multitude d'aspects [13] :

- ✓ **La corrosion uniforme** : c'est une perte de matière plus ou moins régulière sur toute la surface. On trouve cette attaque notamment sur les métaux exposés aux milieux acides.
- ✓ **La corrosion galvanique** : Appelée aussi corrosion bimétallique, elle est due à la formation d'une pile électrochimique entre deux métaux. La dégradation du métal le moins résistante s'intensifie.
- ✓ **La corrosion caverneuse** : Elle est due à une différence d'accessibilité de l'oxygène entre deux parties d'une structure, créant ainsi une pile électrochimique.
- ✓ **La corrosion sélective** : C'est l'oxydation d'un composant de l'alliage, conduisant à la formation d'une structure métallique poreuse.
- ✓ **La corrosion-érosion** : Elle est due à l'action conjointe d'une réaction électrochimique et d'un enlèvement mécanique de matière. Elle a souvent eu lieu sur des métaux exposés à l'écoulement rapide d'un fluide [13].
- ✓ **La corrosion par piqûres** : Elles se localisent en certains points de la surface métallique, ce type de corrosion est très dangereux car il se produit en profondeur et peut conduire à la perforation rapide de tôles épaisses [12].
- ✓ **La corrosion inter-granulaire** : Les métaux à l'état solide sont constitués par des « grains » et possèdent une structure granulaire ou cristalline. Des attaques localisées aux limites des grains, avec une corrosion des grains relativement faible. Quand la corrosion se développe les grains se détachent et le métal ou l'alliage se désagrège [14].
- ✓ **Corrosion sous contrainte** : C'est une fissuration du métal, qui résulte de l'action commune d'une contrainte mécanique et d'une réaction électrochimique [13].

III.3. Facteurs de corrosion :

Les phénomènes de corrosion dépendant d'un grand nombre de facteurs et il est très important d'en dresser une liste. La corrosion mettant en présence deux partenaires, le métal ou l'alliage et le réactif, on conçoit qu'elle dépendra à la fois des caractéristiques du métal et de celles du réactif [12].

III.3.1. Facteurs d'attaque :

- ✓ **pH du milieu** : De nombreuses réactions chimiques ou électrochimiques intervenant dans les phénomènes de corrosion, dépendant du pH de la solution. Pourbaix a établi des diagrammes tension - pH qui délimitent différents domaines dans lesquels le métal est corrodé, susceptible de se passiver ou est stable vis-à-vis du réactif [12].
- ✓ **Gradient thermique** : Un important gradient thermique est une cause de tension peu souvent prise en considération. Si un côté d'une paroi métallique est très chaud et si l'autre côté est à une température très inférieure, il peut se développer des tensions de 2800 KG/cm^2 et plus. Ceci est dû au fait que le côté chaud tend à se dilater mais il est retenu par le côté froid. En augmentant la température du côté du refroidissement, pour réduire le gradient de température (donc les tensions) on résout souvent ce problème [14].

III.3.2. Facteurs métallurgiques :

- ✓ **Corrosion sous contrainte** : il s'agit d'un type de corrosion tout à fait général qui se produit sous l'action combinée d'une contrainte mécanique et d'un phénomène de corrosion, il se manifeste dans la majorité des cas par la formation de fissures transgranulaires [12].

Les tensions résiduelles provoquent la plupart du temps des défaillances par corrosion sous tension. [14].

Les facteurs principaux qui interviennent dans ce type de corrosion sont :

La contrainte à laquelle est soumise l'éprouvette, la nature du milieu corrosif, le temps, en fin l'état de surface et la structure du métal ou de l'alliage [12].

- ✓ **Etat de surface** : La corrosion étant le résultat de l'action que développe à la surface du métal, un liquide ou un gaz, il est logique de penser que la nature de cette surface jouera un rôle important sur le comportement du métal vis-à-vis de la corrosion. On peut diviser les caractéristiques des surfaces en deux groupes :

- ✓ **Caractéristiques cristallographiques** : Il s'agit essentiellement du type de structure à l'échelle du réseau, de la dimension des grains, du degré de perfection résultant des conditions d'élaboration ou d'emploi.
- ✓ **Caractéristiques chimiques** : Un métal contenant des atomes étrangers s'attaque plus rapidement dans un réactif chimique donné que le métal pris à un degré de pureté plus élevé. En effet, à l'attaque chimique pure, se superpose une attaque électrochimique due à la présence de piles locales constituées par le métal lui-même d'une part, les atomes étrangers ou ses propres composés avec ces atomes, d'autre part [12].

III.4. Corrosion électrochimique :

Nous avons déjà indiqué que ce type de corrosion se manifeste lorsqu'il existe une hétérogénéités dans le métal ou dans le réactif. Il y a donc formation d'une pile et passage d'un courant de l'anode vers la cathode dans le réactif, l'anode est attaquée [12].

III.4.1. Courbes de polarisation :

La vitesse de la réaction d'électrode dépend du potentiel, elle varie linéairement avec la densité du courant, selon la loi de Faraday :

$$I = nF \frac{dn_i}{dt} \quad (I-1)$$

Où n est le nombre d'électrons mis en jeu, F est le nombre de Faraday.

$\frac{dn_i}{dt}$ est la vitesse de réaction en moles / s

La densité de courant mesurée en fonction du potentiel donne une courbe de polarisation qui renseigne sur la cinétique des réactifs d'électrode mis en jeu.

Selon la méthode employée, c'est-à-dire contrôle du potentiel ou du courant, on obtient respectivement les courbes de polarisation potentiostatiques, $i=f(E)$, ou de polarisation galvanostatique $E=f(i)$ [13].

III.4.2. Equation de Butler – volmer : [13]

L'équation de Butler – volmer donne une relation entre le potentiel et la densité de courant, pour une réaction d'électrode quelconque, qui entraîne le transfert de n électrons



Les densités de courant anodique et cathodique s'écrivent :

$$I_a = nFk_a C_{red,s} \exp\left(\frac{\alpha nF}{RT} E\right) \quad (I-3)$$

$$I_c = nFk_c C_{ox,s} \exp\left(\frac{-(1-\alpha)nF}{RT} E\right) \quad (I-4)$$

La densité de courant I est la somme des densités de courant anodique et cathodique :

$$I = I_a + I_c = nFk_a C_{red,s} \exp\left(\frac{\alpha nF}{RT} E\right) - nFk_c C_{ox,s} \exp\left(-\frac{(1-\alpha)nF}{RT} E\right) \quad (I-5)$$

$C_{ox,s}$, $C_{red,s}$, représentent respectivement la concentration de B_{ox} et B_{red} à la surface de l'électrode.

α est appelé coefficient de charge, sa valeur est comprise entre 0 et 1.

E est le potentiel de l'électrode de travail par rapport à une électrode de référence dont le potentiel est constant.

K_a, K_c , sont des termes constants telles que :

$$K_a = K'_a \exp\left(\frac{-\Delta G_{a,ch}^*}{RT}\right) \quad (I-6)$$

$$K_c = K'_c \exp\left(\frac{-\Delta G_{c,ch}^*}{RT}\right) \quad (I-7)$$

Ici, $\Delta G_{a,ch}^*$ et $\Delta G_{c,ch}^*$ représentent les enthalpies libre d'activation chimiques qui ne dépendent pas du potentiel appliqué. K'_a et K'_c sont les constants de vitesse.

A l'équilibre, la vitesse de réaction est nulle. Cela ne signifie pas pour autant l'arrêt des réactions partielles :

$$E = E_{rev} \quad \text{et} \quad I = I_a + I_c = 0 \quad (I-8)$$

Par conséquent :

$$I_{a(E_{rev})} = -I_{c(E_{rev})} = I_0 \quad (I-9)$$

L'équation (I-9) définit la densité de courant d'échange I_0 d'une réaction d'électrode.

$$I_0 = nFK_a C_{red,s} \exp\left(\frac{\alpha nF}{RT} E_{rev}\right) = nFK_c C_{ox,s} \exp\left(\frac{-(1-\alpha)nF}{RT} E_{rev}\right) \quad (I-10)$$

Si on introduit la surtension $\eta = E - E_{rev}$, l'équation (I-5) s'écrit alors en fonction de I_0 :

$$I = I_0 \exp\left(\frac{\alpha nF}{RT} \eta\right) - I_0 \exp\left(\frac{-(1-\alpha)nF}{RT} \eta\right) \quad (I-11)$$

L'expression (I-11) correspond à l'équation de Butler – volmer pour les réactions d'électrode

III.4.3. Coefficients de Tafel : [13]

On définit les coefficients de Tafel anodique et cathodique comme suit :

$$\beta_a = \frac{RT}{\alpha nF} \quad (I-12)$$

$$\beta_c = \frac{RT}{(1-\alpha)nF} \quad (I-13)$$

Si l'on remplace ces valeurs dans l'équation (I-11) on obtient :

$$i = i_0 \exp\left(\frac{\eta}{\beta_a}\right) - i_0 \exp\left(-\frac{\eta}{\beta_c}\right) \quad (I-14)$$

On aboutit ainsi, à la forme la plus courante de l'équation de Butler – volmer, appelée aussi équation de Tafel.

III.4.3.1. Mesure des paramètres cinétiques d'une réaction de corrosion par le tracé des droites de Tafel :

Pour déterminer expérimentalement les paramètres cinétiques i , β_a , β_c , une présentation logarithmique de la densité de courant est en général préférable, car elle met en évidence une relation linéaire entre le logarithme de i et la surtension.

Dans le domaine correspondant à $\eta / \beta_a \gg 1$. On obtient :

$$\eta = -\beta_a \ln i_0 + \beta_a \ln i \quad (I-15)$$

$$\eta = a_a + b_a \log i \quad (I-16)$$

L'équation (I-16) appelée droite de Tafel anodique où a_a et b_a sont les constantes de Tafel anodiques.

De façon analogue pour le domaine de Tafel cathodique $\eta / \beta_c \ll 1$:

$$\eta = \beta_c \ln i_0 - \beta_a \ln |I| \quad (\text{I-17})$$

$$\eta = a_c - b_c \log |I| \quad (\text{I-18})$$

L'équation (I-18) est appelée droite de Tafel cathodique où a_c , b_c représentent les constantes de Tafel cathodiques.

Les équations de Tafel (I-16) et (I-18) décrivent les limites anodiques et cathodiques de l'équation de Butler – Volmer.

L'extrapolation d'une courbe de polarisation expérimentale, mesurée dans le domaine de Tafel au potentiel réversible, révèle la densité du courant d'échange i_0 (Figure I-8)

L'inverse de la pente de ces droites donne les coefficients de Tafel β_a et β_c

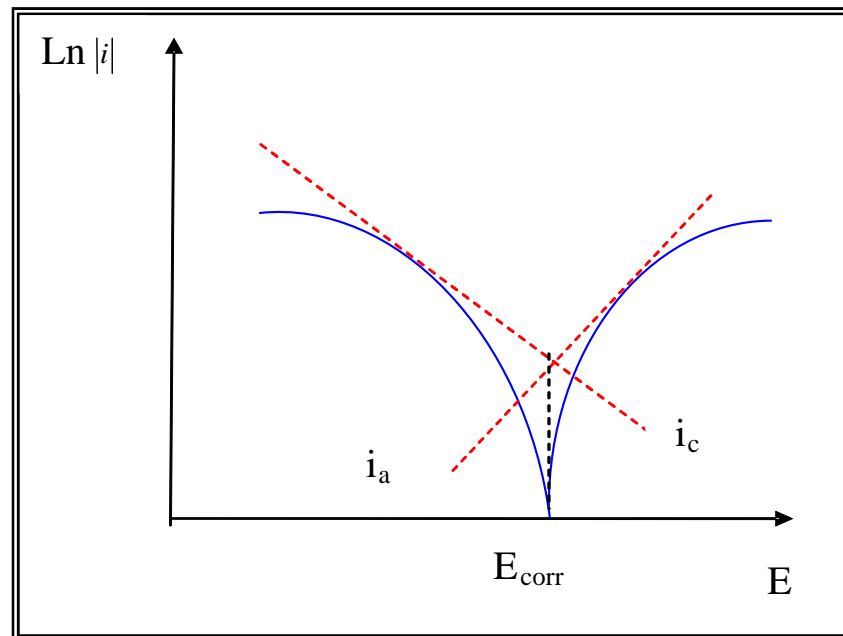


Figure I-8 : Densité de courants anodique et cathodique d'une réaction d'électrode

Chapitre II : Méthodes et Techniques expérimentales

Les principales méthodes d'investigation utilisées dans ce travail sont :

Le traitement thermique de revenu, les observations métallographiques, la diffraction des rayons X, et les essais électrochimiques. Avant de détailler ces différentes techniques commençons par définir le type de matériau qui va subir tous ces tests

II.1.Matériau étudié :

Les échantillons d'aciers destinés à subir les différents essais dans ce travail ont été prélevés à partir de concentriques neufs de spécification internationale API 5 CT grade N80 de diamètre intérieur égal à 1.66" pouces et dont la composition chimique est donnée dans le tableau II-1 [1] . Ces concentriques, sont utilisés, rappelons le, pour le traitement des puits producteurs ou injecteurs d'eau albien. Ces échantillons ont été découpés à l'aide d'une tronçonneuse mécanique sous jet d'eau continu pour éviter d'altérer la structure par transformation structurale à chaud, ces derniers ont une surface active égale à 15 cm².

Les échantillons ont ensuite été poli au papier abrasif de granulométrie croissante allant de 180 jusqu'à 4000 pour éliminer d'une part, la couche de précipités présents à la surface du métal (rouille, sels et graisses), et d'autre part pour obtenir une surface miroir après rinçage à l'acétone et séchage à l'air.

Eléments %	Fe	C	Mn	Si	P	S	Ni	Cr	Mo	Cu	V
API CT N80	98.48	0.21	0.75	0.1	0.007	0.007	0.05	0.12	0.05	0.16	0.01

Tableau II.1 : Composition chimique de l'acier API 5CT N80

II.2.Traitements thermique de revenu :

Les traitements thermiques ont pour but de soumettre l'acier à l'action de cycles thermiques appropriés afin de lui conférer des propriétés particulières adaptées à sa mise en œuvre ou à son utilisation.

Le traitement thermique de revenu a pour objectif de réduire ou d'éliminer les contraintes internes propres ou modifier leur répartition, sans modification de la microstructure. Le revenu de détente en est l'exemple le plus courant

Les traitements thermiques de revenu ont été réalisés sous vide primaire afin d'éviter l'oxydation des échantillons, ils ont été effectués aux températures de 200°C, 250°C et 300°C avec un maintien d'une heure à ces températures. Les vitesses de chauffage et de refroidissement mises en jeu sont égales à 180°C/h et 450°C/h respectivement. Le choix des températures de revenu a été fait dans le souci d'éviter qu'il y ait transformation structurale.

II.3.Observations métallographiques :

L'opération s'effectue par immersion de l'échantillon (API 5 CT N 80) fraîchement poli et sec dans le réactif 4% Nital (4ml acide nitrique et 100ml éthanol) pendant quelques secondes.

L'attaque est arrêtée en rinçant abondamment à l'eau ou à l'alcool. On prend soin d'éliminer toute trace d'auréole au séchage qui gênerait l'observation. Pour cela, on rince avec un solvant volatil (l'acétone) et on sèche rapidement avec un séchoir chauffant. Le temps d'attaque est adapté à la concentration du réactif et sa température [16].

L'observation métallographique a été réalisée à l'aide d'un microscope optique LEICA LDMLM de l'université de LAGHOUAT.

II.4. Diffraction des Rayons X :

La diffraction des rayons X est une méthode d'étude des matériaux métallique ; dont la caractéristique principale est qu'elle n'est pas destructive. Tout d'abord axée vers la détermination des structures cristallines, elle s'est étendue vers d'autres domaines en particulier vers celui de la métallurgie [16].

Le dispositif expérimental permettant l'enregistrement des spectres de diffraction X est un diffractomètre automatisé modèle SEIRFERT type XRD 3003TT. Les conditions expérimentales étaient les suivantes :

La longueur d'onde du rayonnement incidente est $\lambda_{Cu} = 1.54 \text{ \AA}$, la tension d'accélération est de 40 Kv, le courant étant de 30 mA et la vitesse de balayage est égale à 0.04 °/s.

II. 5. Essais électrochimiques :

Pour réaliser les différentes mesures nous avons conçu une cellule électrochimique inspirée du brevet [17] (voire figure II-1). Le dispositif expérimental est constitué par un (potentiostat / galvanostat) type PGP 201.un micro-ordinateur doté d'un logiciel Voltamaster1.permettant le traitement automatique des données (V_{Corr} , i_{Corr} , E_{Corr}) La cellule électrochimique est constituée de deux cylindres coaxiaux.

Le premier cylindre est composé d'une cuve en verre de dimension 30x20x20cm, munie de deux trous permettant l'introduction de l'électrode de référence au calomel saturé en KCl et l'électrode auxiliaire en platine de section 1cm². Dans la cuve on place le milieu corrosif qui est l'eau Albien du puits GLAHA2 dans le cas où l'eau est traitée ,ou celle du puits GLAHA1 dans le cas où elle ne l'est pas .

Le chauffage de l'eau est assuré par une résistance chauffante commandée par un thermostat réglable pour contrôler la température du milieu corrosif. La température est indiquée par un thermomètre digital.

Le deuxième cylindre est composé d'une cuve cylindrique de dimension 13x11cm², munie d'une ouverture au fond où est placé l'acier à étudier qui représente l'électrode de travail (voir figure II-2).

La cuve cylindrique remplie d'inhibiteur est chauffée à l'aide d'une résistance chauffante contrôlée par un thermostat réglable .La lecture de la température se fait également à l'aide d'un thermomètre digital.

L'électrode de travail a été préparée à partir d'un échantillon représentatif d'un concentrique.

Le traitement des résultats se fait à l'aide d'un logiciel Voltamaster1 permettant la lecture directe du courant de corrosion, de la résistance de polarisation et de la vitesse de corrosion par la méthode d'extrapolation des droites de Tafel.

Les conditions expérimentales des mesures électrochimiques sont les suivantes :
Le Potentiel varie de -900 mV à 300 mV, le balayage du courant se fait de -25 mA à +25mA.

La vitesse de balayage est prise égale à 30 mV /min et la durée de chaque essai est de 40 min Les courbes de polarisation $i = f(E)$ sont déterminées en appliquant un potentiel entre l'électrode de travail et une électrode de référence (ECS). Un courant stationnaire s'établit

après un certain temps (quelques minutes), il est mesuré entre l'électrode de travail et une électrode auxiliaire.

II.5.1. milieu corrosif ou électrolyte :

L'électrolyte utilisé est l'eau Albien traitée (puits GLAHA2) ou non traitée (puits GLAHA1) par des inhibiteurs de corrosion, elle nous a été fournie par le personnel de production de la région Haoud Berkauï

L'aération ou la présence d'oxygène dissous dans un environnement liquide peut influencer profondément les taux de corrosion [15]. Ce facteur doit être pris avec grand soin dans l'élaboration d'un programme d'essai de corrosion, en conséquence avant toute manipulation, on effectue un barbotage à l'azote afin de se rapprocher des conditions réelles des puits (absence d'oxygène).



Figure II .2 : Photo qui montre l'électrode de travail

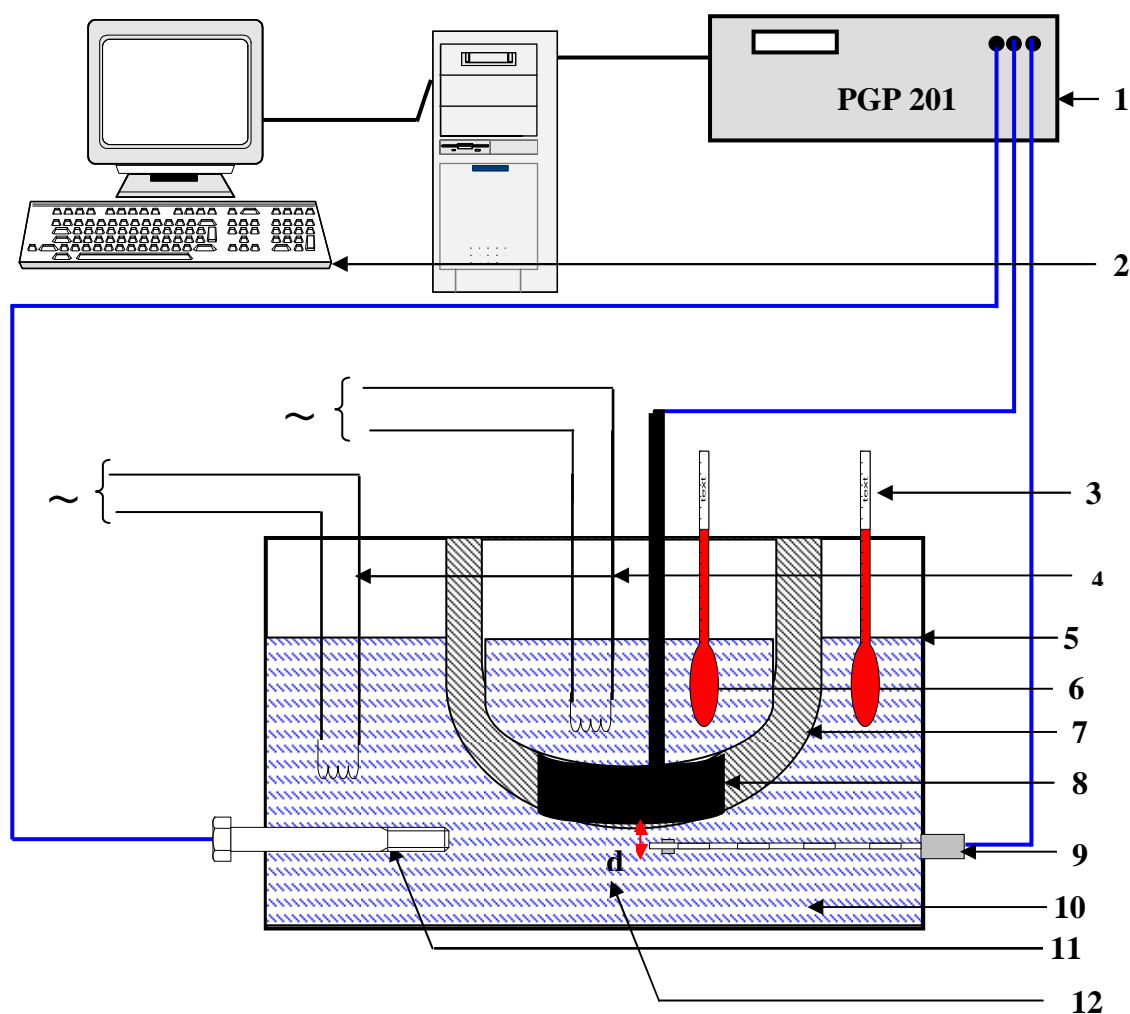


Figure II.1 : Dispositif d'essai sous transfert de chaleur

- 1- Potentiostat /galvanostat.
- 2- Unité de calcul (Logiciel Voltamaster 1).
- 3- Thermomètre digital.
- 4- Résistance chauffante.
- 5- Cuve en verre.
- 6- Eau traité.
- 7- Tube en plastique.
- 8- Electrode de travail (API5 CTN 80).
- 9- Électrode référence (E.C.S).
- 10- Eau albien (traitée ou non)..
- 11- Électrode auxiliaire.
- 12- La distance égale quelque millimètre

Chapitre III: Résultats et discussions

Introduction :

En industrie, mondiale ou nationale, le fléau de la corrosion cause des problèmes souvent insurmontables ; en particulier dans le domaine pétrolier ,en l'occurrence le cas des champs de Haoud Berkauï, de Benkahla et de Guellala qui sont des champs protecteurs de pétrole par injection de l'eau de l'Albien.

Les statistiques données par [4], qui montrent la cadence de changement des concentriques pour les différents puits producteurs des trois champs, **Haoud Berkauï, Benkahla et Guellala** et ce pour une eau traitée ou non révèlent clairement qu'il y a réduction de la durée de vie des concentriques qui n'excède généralement pas 2 années au lieu des 5 recommandées, tableaux III-1, III-2 et III-3.

Les examens visuels des concentriques du puits GLAHA2 remontés en janvier 2004 montrent un état de dégradation très avancée avec des perforations de diamètres atteignant parfois 10mm, cet état de fait correspond à des profondeurs variant dans l'intervalle [600m-800m].

Par ailleurs nous avons constaté que le concentrique est recouvert d'une épaisse couche de dépôt rougeâtre non homogène et présentant des discontinuités (voir figure III-1)

Puits	Sans traitement			Avec traitement		
	Date de changements concentriques	Cadence (ans)	Observations	Date de changements concentriques	Cadence (ans)	Observations
OKJHA2	97,99	2	Corrosion très avancée avec des percements apparents	2001,2003	2	Corrosion très avancée avec les percements apparents
OKJHA3	98,2000	2		2002,2004	2	
OKJHA4	98,2000	2		2002,2004	2	
OKMH89	97,99	2		2002,2004	2	
OKNHA1	98,2000	2		2002,2004	2	

Tableau III-1 : Champ de HAOUD BERKAOUÏ

Puits	Sans traitement			Avec traitement		
	Date de changements concentriques	Cadence (ans)	Observations	Date de changements concentriques	Cadence (ans)	Observations
OKPHA1	96, 98, 2000	2	Corrosion très avancée avec des percements apparents	2002, 2004	2	Corrosion très avancée avec des percements apparents
OKPHA2	96, 98, 2000	2		2002 ,2004	2	
OKPHA4	97, 99	2		2003	/	

Tableau III-2 : Champ de BENKHLA

Puits	Sans traitement			Avec traitement		
	Date de changements concentriques	Cadence (ans)	Observations	Date de changements concentriques	Cadence (ans)	Observations
GLAHA2	97, 99	2	Corrosion très avancée avec des percements apparents	2001, 2003	2	Corrosion très avancée avec des percements apparents
GLAHA3	97, 99	2		2001 ,2003	2	
GLAHA4	97, 99	2		2001,2003	/	

Tableau III-3 : Champ de GUELLALA

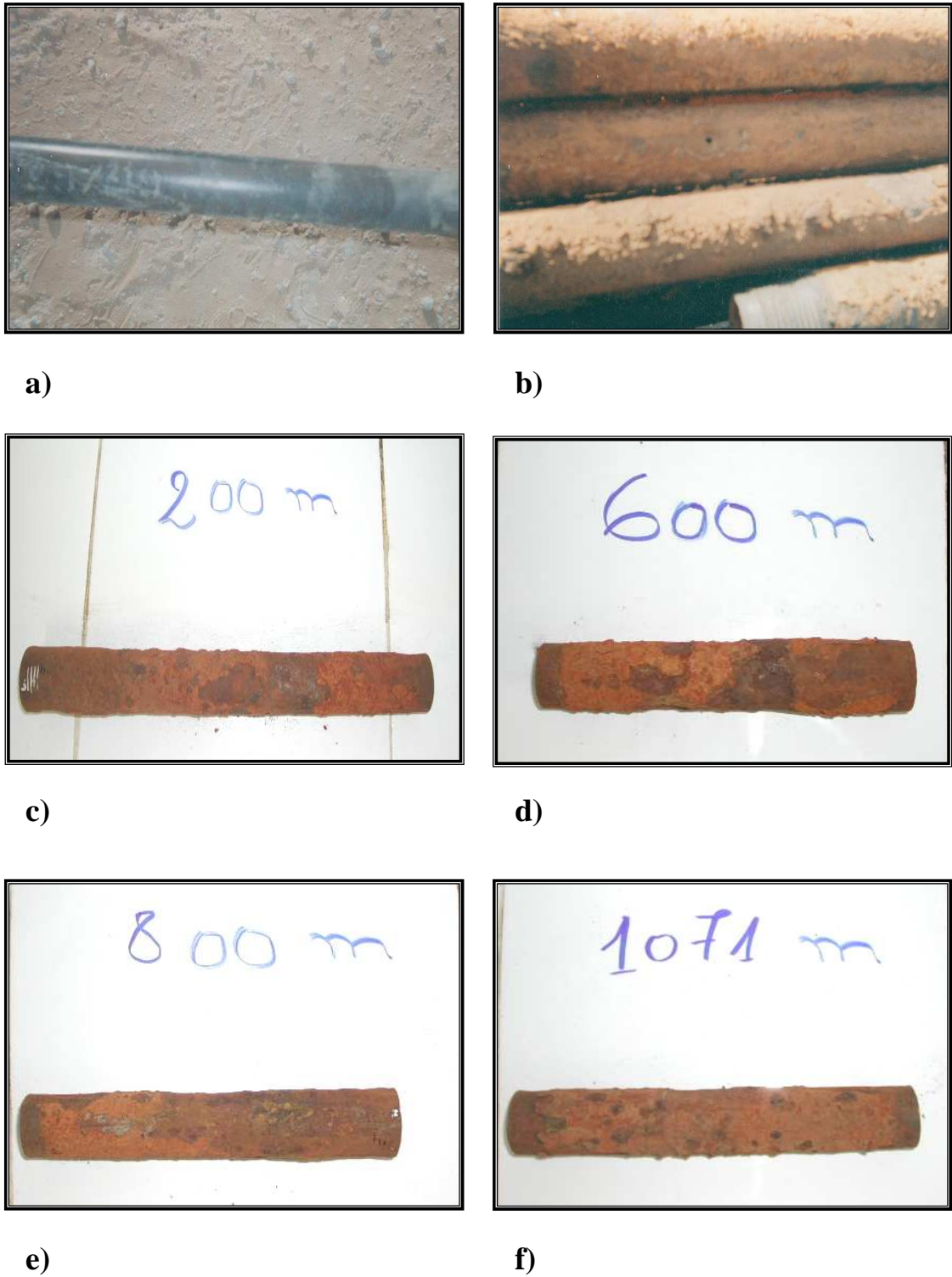


Figure III-1 : Photos montrant l’aspect de la corrosion des concentriques retirés du puits GLAHA2 à quelques producteurs
a) Tube neuf, b) l’aspect des dépôts et des perforations.
c) à 200 m, d) à 600 m , e) à 800 m , f) à 1071m

III.1. Analyse physico-chimique de l'eau :

L'analyse chimique de l'eau a été réalisée par le service de traitement des eaux du Centre de Recherche et de Développement de Boumerdes (CRD) sur un échantillon prélevé du puits GLAHA2. Les teneurs des principaux ions contenus dans cette eau sont regroupés dans le tableau (III-4) [17][18], l'agressivité de l'eau a été évaluée à l'aide de la méthode de Langelier, les résultats regroupés dans le tableau III-5 montre que cette eau est à caractère entartrant et non corrosive.

L'analyse des gaz dissous et des dépôts de corrosion réalisée selon la norme NACE [19]. par N. ARBAOUI [4] montre qu'il y a absence totale de H_2S , et absence également de Fe_2S , ce qui confirme d'une part que l'eau de l'Albien est non corrosive et que la corrosion des concentriques n'est pas d'origine bactérienne.

Origine de l'eau	Teneurs en cations (mg/l)					Teneurs en anions (mg/l)		
GLAHA2	Na^+	K^+	Ca^{++}	Mg^{++}	Fe^{++}	HCO_3^-	CO_3^{--}	SO_4^{--}
	289.7	16.1	154.7	59.6	2.2	170.8	0	515.2
	PH=7.6							

Tableau III- 4 : Analyse chimique de l'eau Albien du puits GLAHA2

pH _{réel}	pH _{saturation}	I _{saturation}	I _{stabilisation}	Température de l'eau (°C)	Nature de l'eau
7.60	6.15	0.56	6.48	40 à 45	Incrustante

Tableau III- 5 : Résultat de l'essai au marbre de l'eau du puits GLAHA2

III.2. Observation métallographique :

L'aspect métallographique de l'acier brut de livraison montre qu'il s'agit d'une structure martensitique (figure III-2a et III-2b). Le dépouillement du spectre de diffraction des rayons X de la figure III-3 a permis de déterminer les paramètres de maille de la structure martensitique quadratique a et c respectivement égaux à 2.989 Å et 3.137 Å. Un tel résultat a déjà été mis en évidence lors d'une étude précédente réalisée par [2] sur la même nuance d'acier.

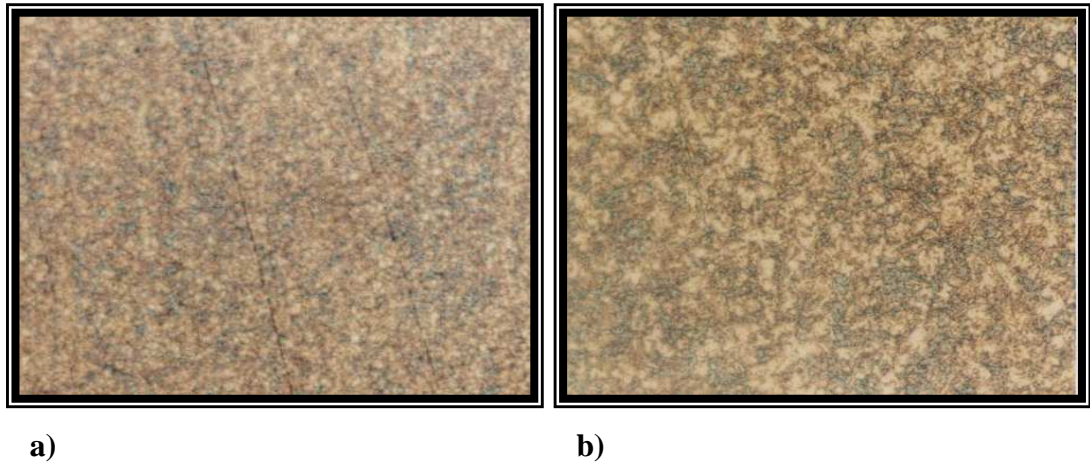
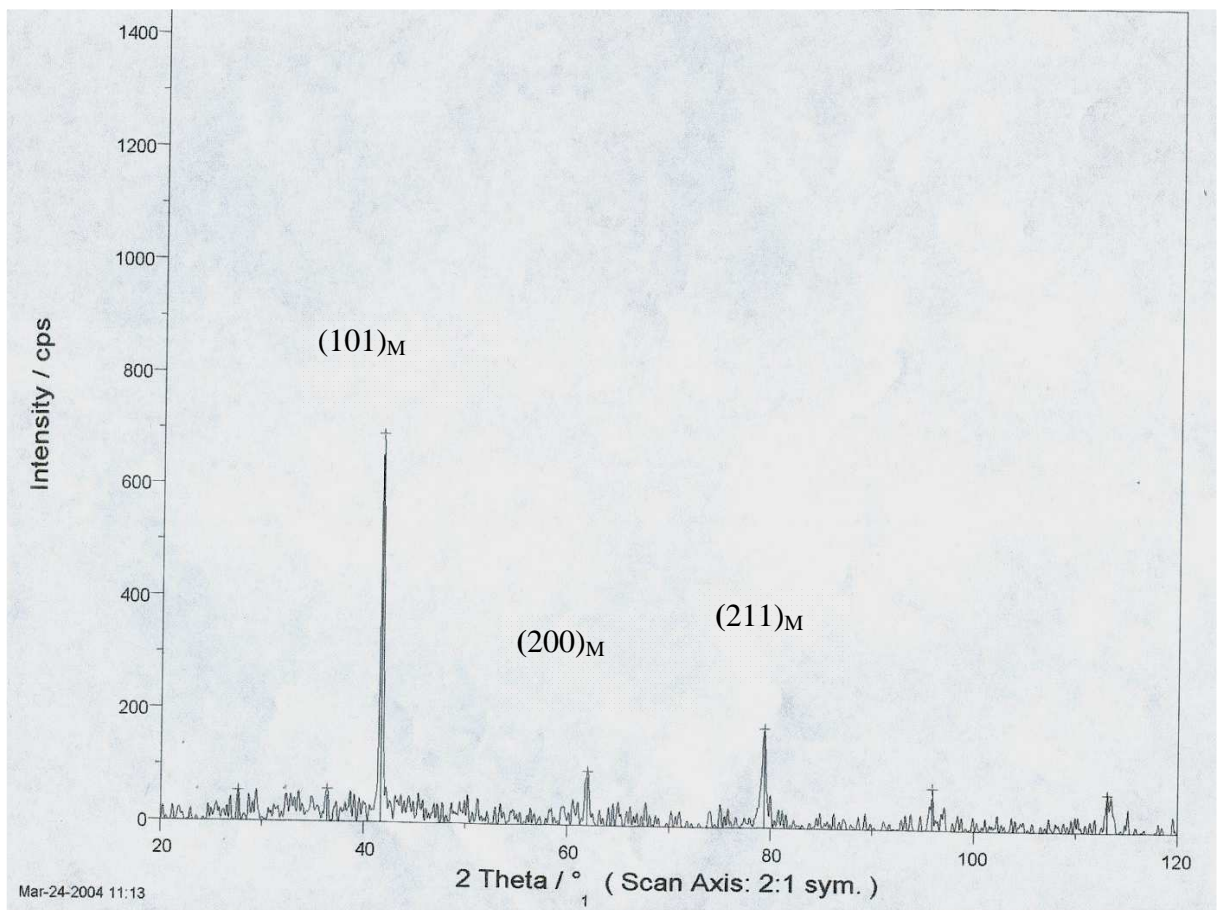


Figure III-2 : Aspect micrographique de l'acier API 5CT N80 brut de livraison attaqué au Nital à 4% montrant une structure de type martensitique
a) X100 , b) X500



FigureIII-3 : Spectre de diffraction X obtenu à partir d'un acier API N 80 brut de livraison.

III. 3. Influence du gradient de température sur la vitesse de corrosion :

a) Acier brut de livraison :

Les résultats des essais électrochimiques, tirés des courbes de polarisation et de Tafel (Voir annexe II), pour l'acier brut de livraison et pour différents gradients de température ΔT sont représentés dans le tableau III-6.

La valeur de la vitesse de corrosion trouvée pour différents gradients est presque la même dans le cas des deux types d'eau ; son évolution ultérieure en fonction de ΔT croissante (figure III-4) montre qu'elle augmente de manière continue à mesure que ΔT croît ; nous n'avons pas noté de stabilisation de la vitesse de corrosion contrairement à ce qui a été trouvé par [3].

Ce comportement est identiquement le même et ce quelle que soit la nature de l'eau (traitée ou non), toutes fois les valeurs de V_{corr} sont légèrement plus faibles dans le cas où l'eau est traitée, il ressort donc que le traitement utilisé n'est pas d'une grande efficacité.

ΔT (°C)	0	3	6	9	12	16	20	24
V_{corr} (mm /an) Eau non traitée	0.066	0.155	0.163	0.182	0.184	0.212	0.265	0.297
V_{corr} (mm /an) Eau traitée	0.046	0.120	0.123	0.137	0.145	0.189	0.220	0.273

Tableau III-6 : Valeurs des vitesses de corrosion en fonction de ΔT .

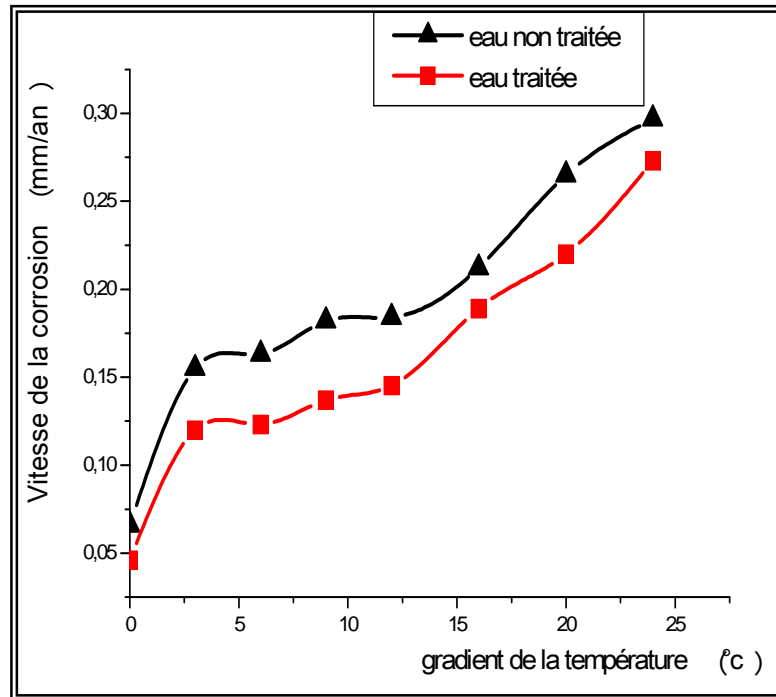


Figure III-4 : Evolution de la vitesse de corrosion en fonction de ΔT
Acier brut

b) Aciers revenus :

Pour les aciers revenus, les différentes valeurs de la vitesse de corrosion trouvées sont regroupées dans le tableau III-7. L'évolution de V_{corr} en fonction de ΔT suit la même allure que celle trouvée dans le cas de l'acier brut et ce quelque soit la valeur de T_R . Les valeurs des vitesses de corrosion sont également atténuées par l'effet du traitement employé (traitement de l'eau) (voir figure III-5a, III-5b et III-5c).

Remarquons par ailleurs, que les valeurs des vitesses de corrosion semblent se resserrées pour les plus grands ΔT , cet état de fait est observé pour toutes les températures de revenu utilisées dans ce travail.

Le gradient de température semble agir de manière très néfaste sur les aciers et son effet est incontournable car il est imposé au concentrique dans les conditions réelles d'exploitation.

ΔT (°C)	Eau non traitée			Eau traitée		
	V_{corr} (mm / an)			V_{corr} (mm / an)		
	200 °C	250 °C	300 °C	200 °C	250 °C	300 °C
0	0.033	0.030	0.037	0.031	0.032	0.033
3	0.105	0.082	0.113	0.097	0.080	0.082
6	0.140	0.123	0.142	0.114	0.083	0.111
9	0.153	0.130	0.147	0.123	0.104	0.114
12	0.165	0.157	0.157	0.126	0.110	0.117
16	0.160	0.152	0.175	0.161	0.151	0.154
20	0.187	0.158	0.177	0.183	0.173	0.164
24	0.192	0.167	0.171	0.169	0.161	0.167

Tableau III-7 : Valeurs de la vitesse de corrosion en fonction de ΔT .

Pour différentes températures de revenu

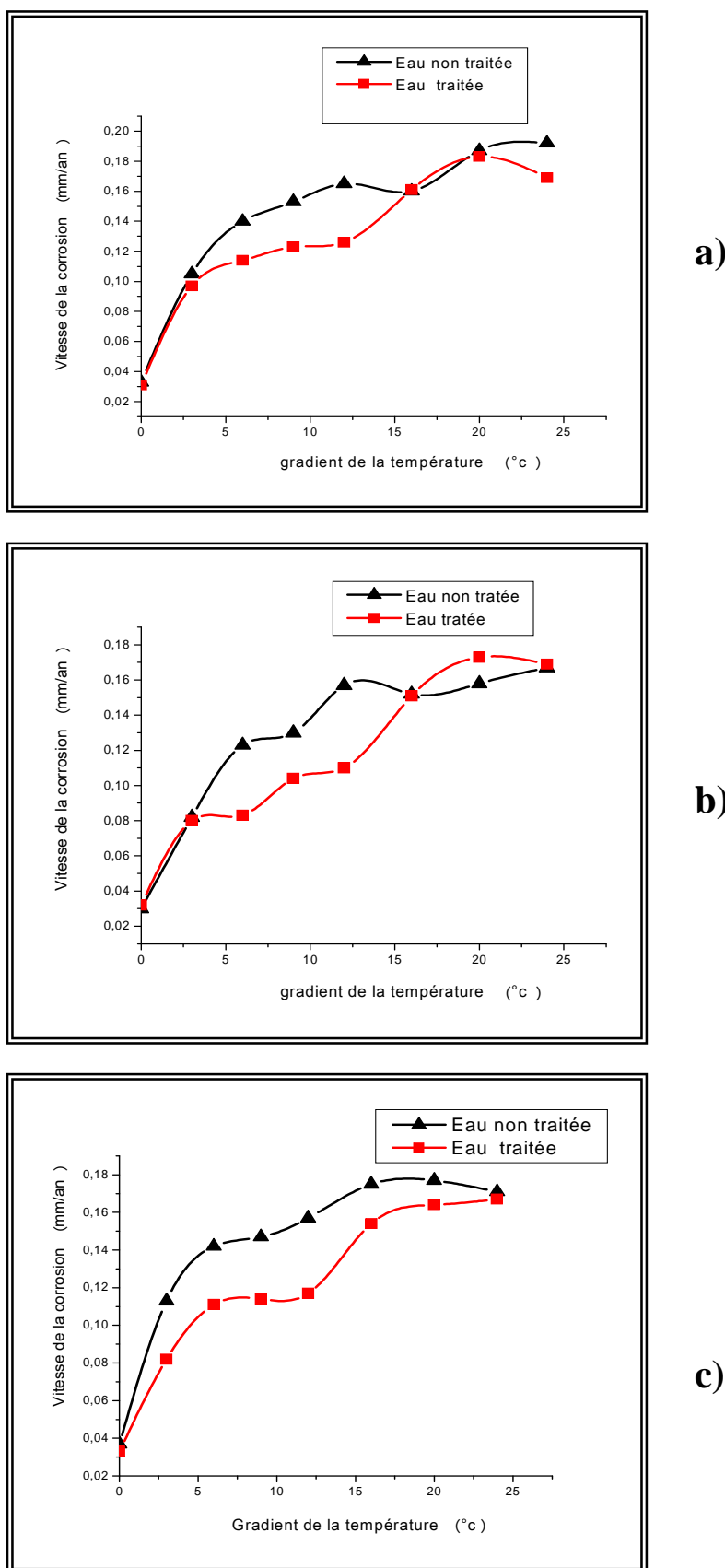


Figure III-5 : Evolution de la vitesse de corrosion en fonction de ΔT
a) $T_R=200\text{ °C}$, b) $T_R=250\text{ °C}$ et c) $T_R=300\text{ °C}$

III.4. Influence du traitement thermique de revenu sur la vitesse de corrosion :

Dans cette partie de l'étude nous montrons l'évolution de la vitesse de corrosion en fonction de la température de revenu et pour différents gradients de températures (figures III-6).

Sur ces figures nous pouvons constater que la vitesse de corrosion diminue considérablement et ce indépendamment de la valeur du gradient de température imposé à l'acier. Ce comportement est quasi identique pour les deux types d'eau (traitée ou non).

Si nous les prenons, une à une, les courbes montrant l'évolution de la vitesse de corrosion en fonction de T_R , nous constatons une diminution très nette de V_{corr} à mesure que la température de revenu augmente, ceci étant toujours vrai quelle que soit la nature de l'électrolyte.

Cette diminution de la vitesse de corrosion est vraisemblablement due au seul phénomène de relâchement des contraintes ; Ceci étant vrai pour les plus basses températures puisque aucune transformation structurale n'est susceptible d'avoir lieu dans cette plage de température.

Pour la plus haute température (300°C), la vitesse de corrosion semble, de manière générale, augmenter légèrement. Cette augmentation peut être attribuée au phénomène accompagnant la transformation de la martensite en un alliage biphasé ferrito-perlitique.

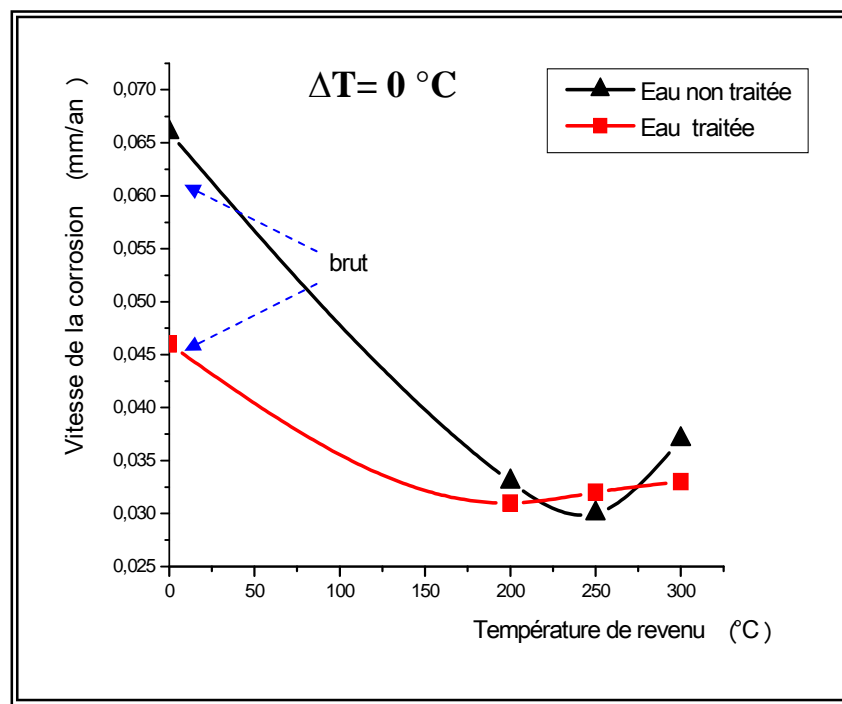
Au cours de cette transformation, la martensite donne naissance à deux phases (ferrite et perlite) ce qui a pour conséquence la formation de plusieurs cellules galvaniques ; le nombre de joints de grains de la ferrite et des carbures augmente en conséquence.

D'un point de vue énergétique, le joint de grains se comporte comme une zone anodique, l'énergie des atomes qu'il contient étant supérieure à celle des atomes contenus dans le grain lui-même, le grain joue alors le rôle d'une cathode.

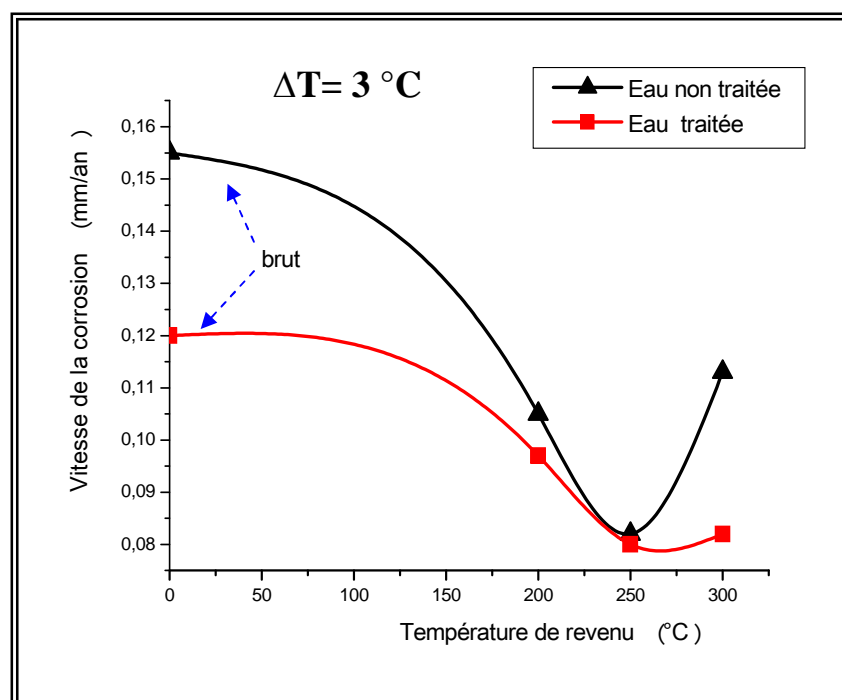
L'augmentation de la vitesse n'est par ailleurs pas très significative pour atteindre les valeurs des vitesses obtenues dans le cas de l'acier brut, ce qui laisse penser, comme nous l'avons signalé plus haut, que la diminution observée s'associe surtout au phénomène de relâchement des contraintes.

Figure III-6 : Evolution de la vitesse de corrosion en fonction de la température de revenu T_R pour différents gradients ΔT

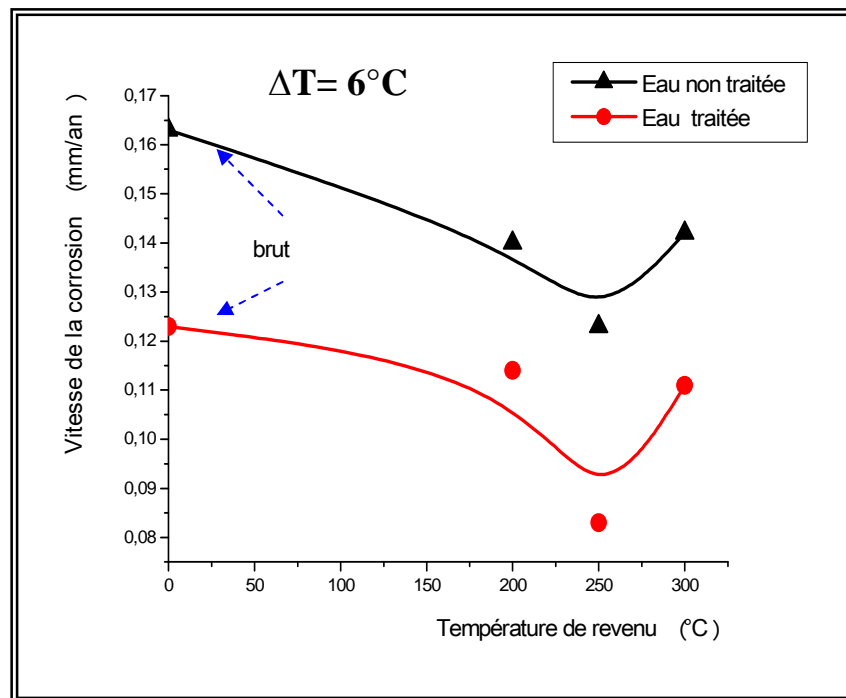
a) $\Delta T = 0^\circ\text{C}$, b) $\Delta T = 3^\circ\text{C}$, c) $\Delta T = 6^\circ\text{C}$, d) $\Delta T = 9^\circ\text{C}$,
e) $\Delta T = 12^\circ\text{C}$, f) $\Delta T = 16^\circ\text{C}$, g) $\Delta T = 20^\circ\text{C}$ et h) $\Delta T = 24^\circ\text{C}$



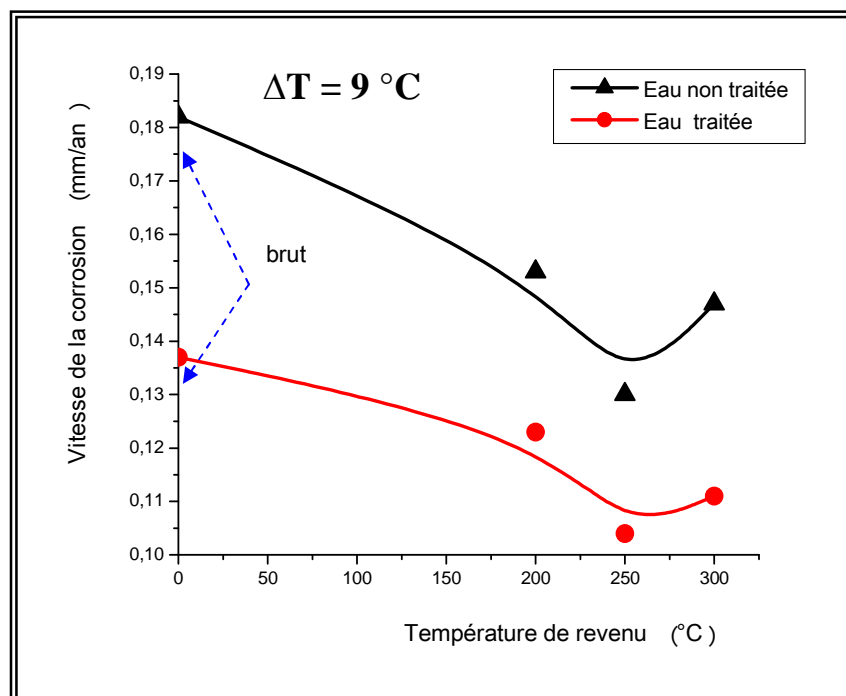
a)



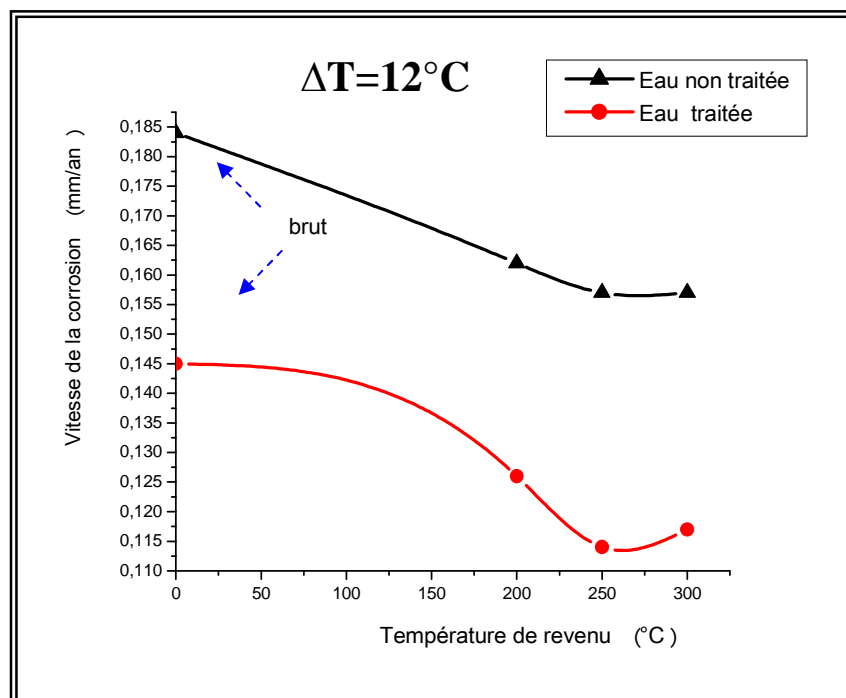
b)



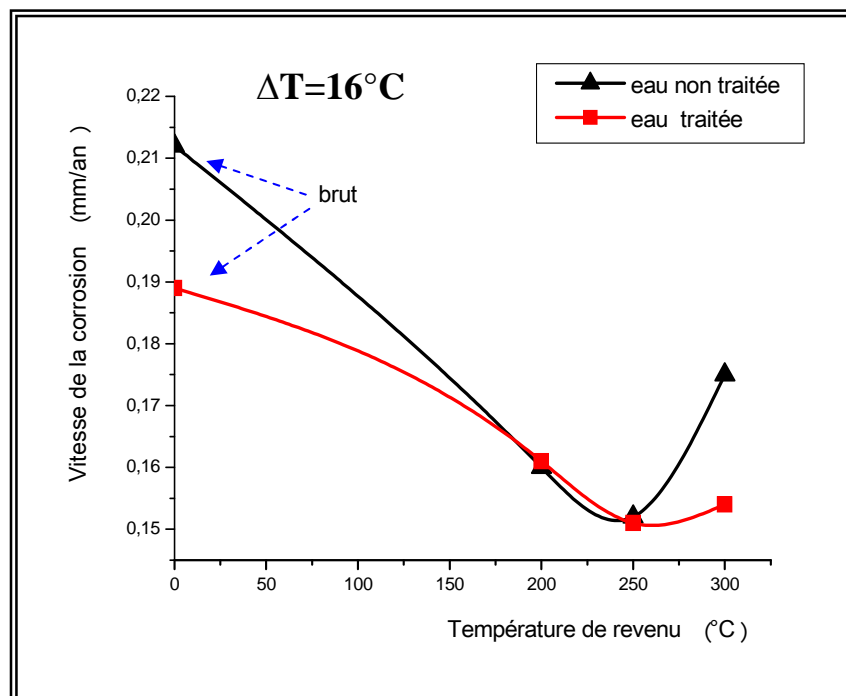
c)



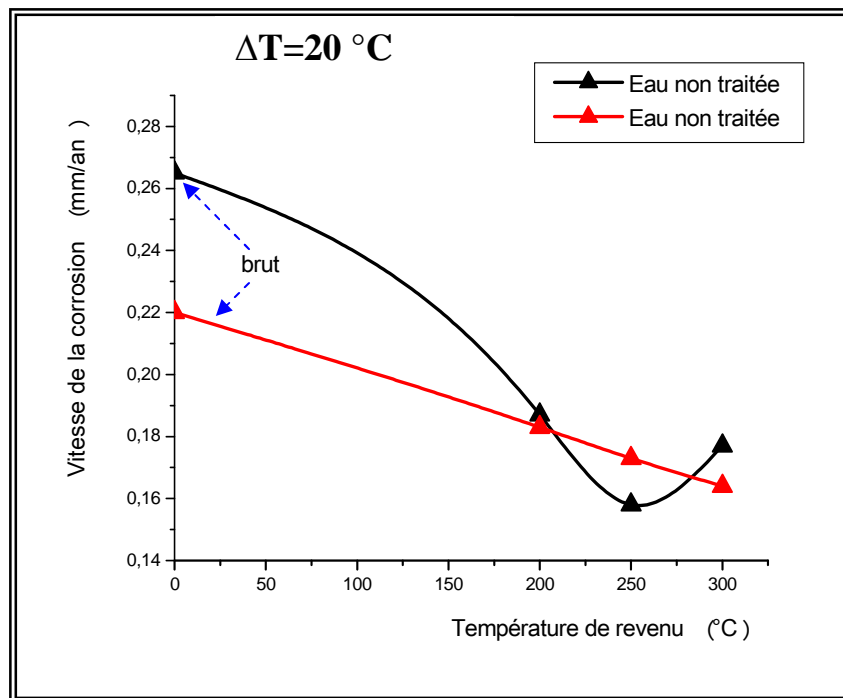
d)



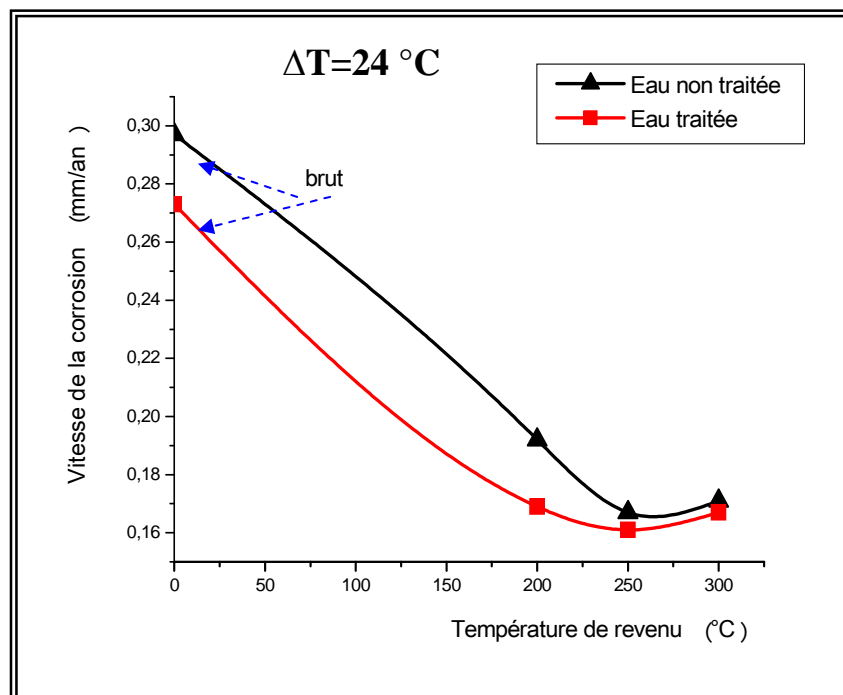
e)



f)



g)



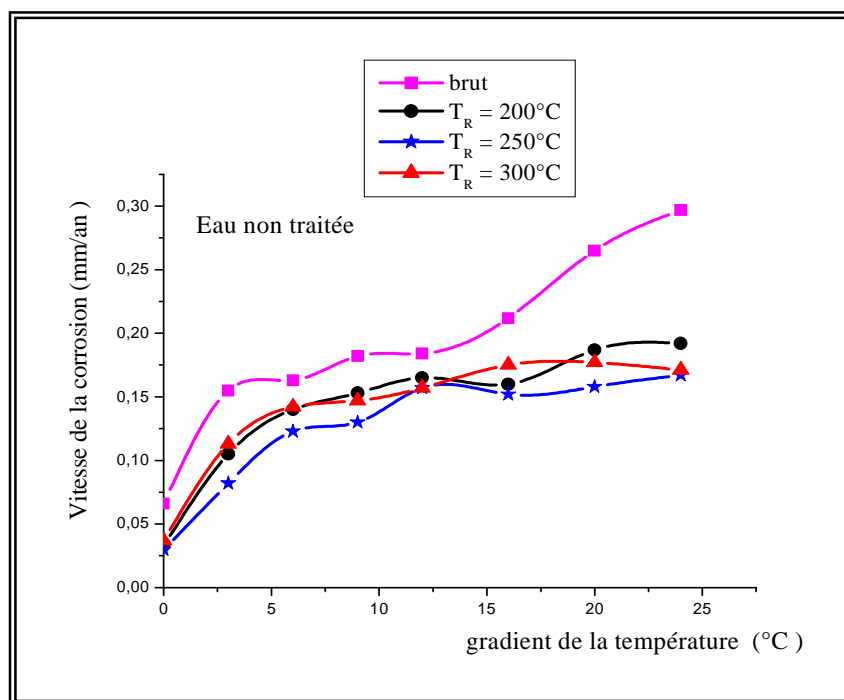
h)

III.5. Influence conjuguée du traitement thermique de revenu (T_R) et du gradient (ΔT) sur la vitesse de corrosion :

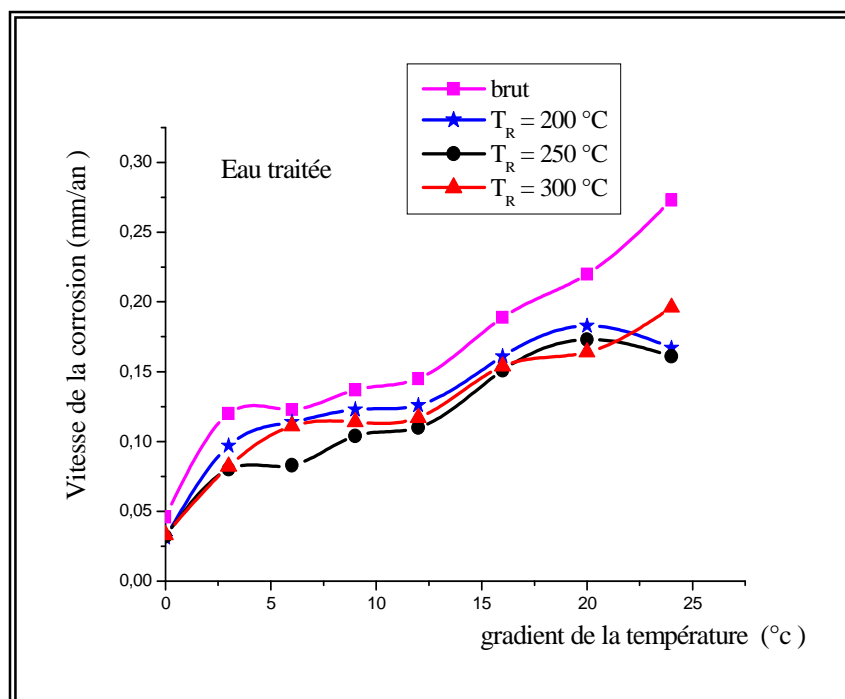
Dans le souci de rendre plus clair l'effet cumulé du gradient de température et du traitement thermique de revenu sur la tenue à la corrosion de l'acier, nous avons représenté sur la même figure (figures III- 7 et III- 8) les évolutions respectives de V_{corr} en fonction de ΔT et T_R et ce dans les deux cas (eau traitée ou non).

Sur ces figures, nous pouvons constater d'une part, et de manière très claire, que l'augmentation du gradient de température entraîne une augmentation de la vitesse de corrosion et ce quelque soit le traitement thermique de revenu imposé à l'acier, ceci étant bien sur vrai quelque soit la nature de l'eau (figures III-7a, III-7b), notons qu'il y a augmentation de la vitesse de corrosion dans le cas de la plus haute température.

D'autres d'une part, le traitement thermique de revenu entraîne une diminution significative de la vitesse de corrosion, il est de ce fait très utile quand à la tenue à la corrosion de cet acier (figures III-8 a et III-8 b). Par ailleurs nous pouvons faire la même remarque que plus haut, à savoir que dans le cas de la plus haute température de revenu, la valeur de la vitesse de corrosion semble augmenter légèrement, ceci a été discuté longuement plus avant. Rappelons enfin que ce comportement de l'acier est quasiment le même quelque soit la nature de l'eau.



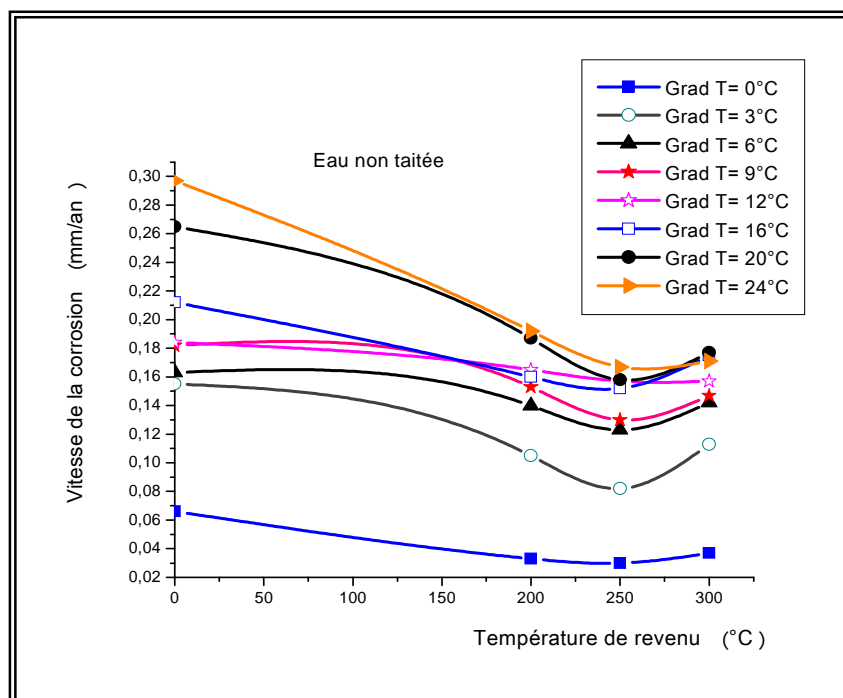
a)



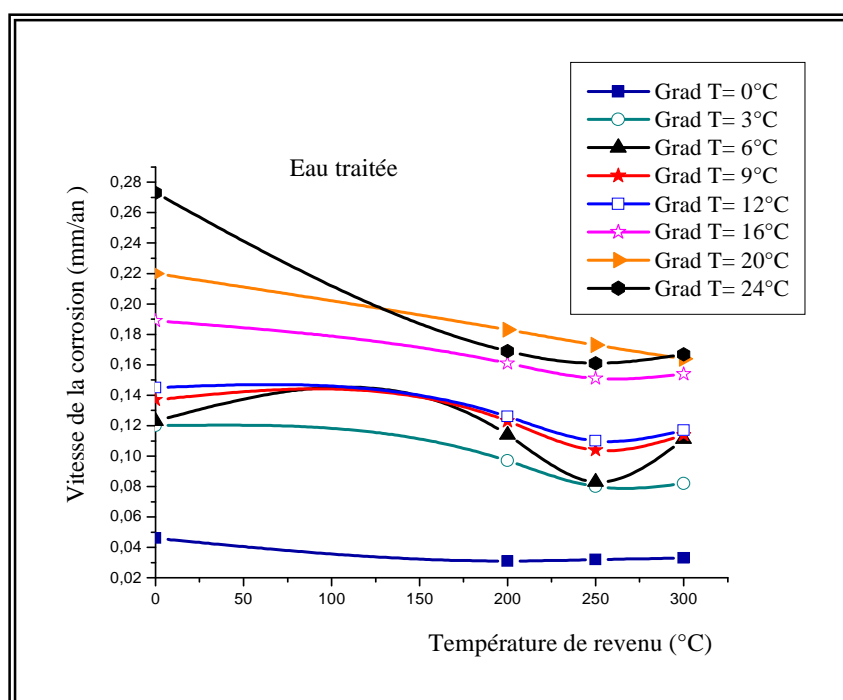
b)

Figure III-7 : Action cumulée du gradient de température et de traitement thermique de revenu sur la vitesse (V_{corr})

a) Cas de l'eau non traitée b) Cas de l'eau traitée



a)



b)

Figure III-8 : Action cumulée du traitement thermique de revenu et du gradient de température sur la vitesse (V_{corr})

a) Cas de l'eau non traitée b) Cas de l'eau traitée

Conclusions

L'étude que nous avons menée a permis de développer une méthode d'étude des phénomènes de corrosion en fonction du gradient de température

Cette étude nous a permis de montrer que l'eau de l'Albien est une eau entartrante et à caractère non corrosif.

Les observations métallographiques et l'analyse par diffraction X ont montré que l'acier API 5CT grade N80 possède une structure martensitique de paramètres de maille a et c respectivement égaux à 2.989 Å et 3.137 Å.

Les résultats des essais électrochimiques nous ont permis de mettre clairement en évidence l'effet bénéfique du traitement thermique de revenu sur la tenue à la corrosion même en présence du gradient de température.

Nous avons pu constater que l'augmentation du gradient de température entraîne une augmentation de la vitesse de corrosion, ce phénomène peut, en partie, expliquer l'état de dégradation très avancé des concentriques que nous avons observé lors de leur remontée.

L'existence du gradient de température étant un facteur que l'on ne peut pas éliminer car, dans les conditions réelle d'exploitation des puits, il est imposé à l'acier.

Par ailleurs le traitement thermique de revenu entraîne une diminution non négligeable de la vitesse de corrosion, cette diminution est surtout due au phénomène de relâchement des contraintes résiduelles.

Nous avons remarqué que l'efficacité du traitement des eaux par les inhibiteurs n'entraîne, en aucune manière, une amélioration de la tenue à la corrosion des aciers. Il semble évident que le facteur principal de la corrosivité des concentriques est l'existence du gradient de température.

☞ Pour améliorer quelque peu la durée de vie des concentriques, nous proposons de leur faire subir des traitements thermiques de revenu d'une heure à des températures légèrement inférieure à 300°C avant leur utilisation dans les puits.

Annexe I

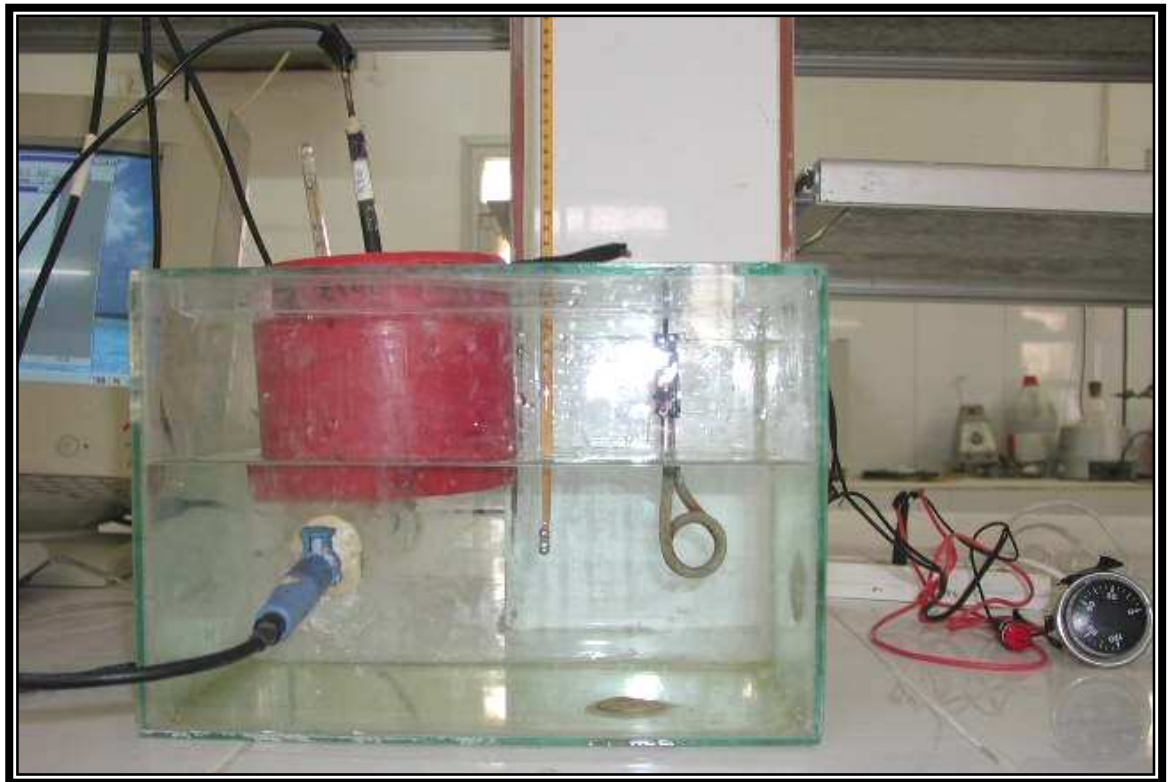
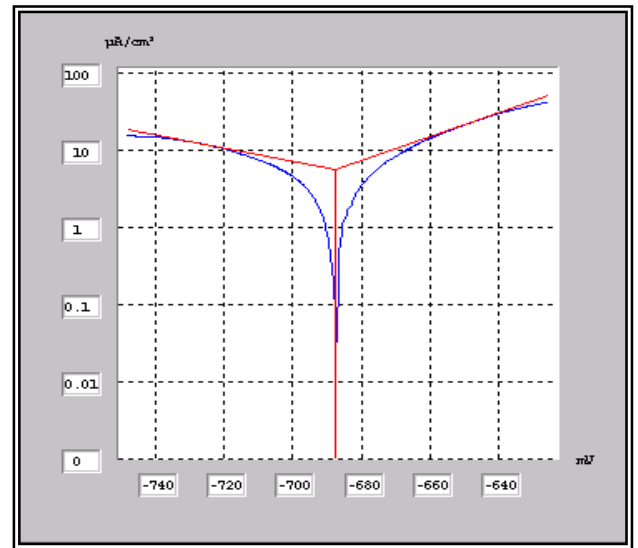
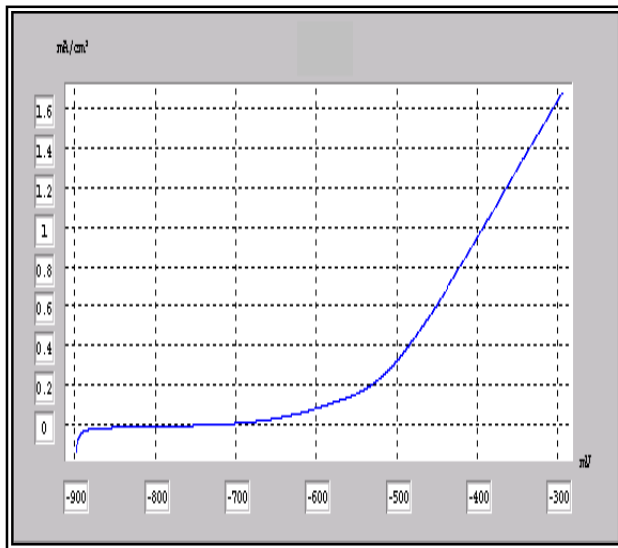


Figure : Banc d'essai sous transfert de chaleur

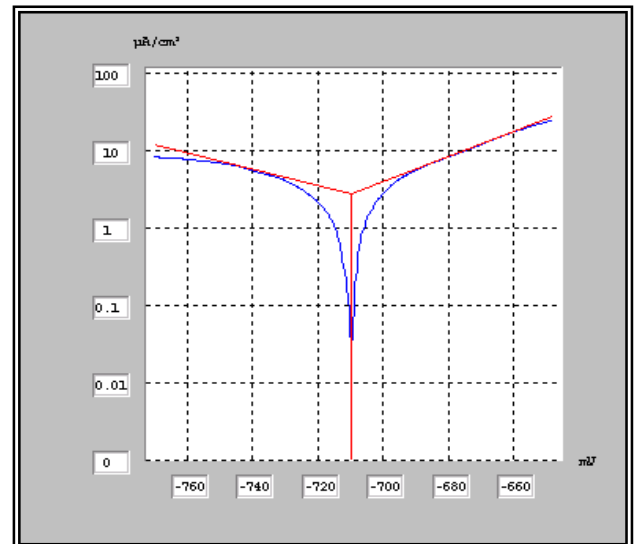
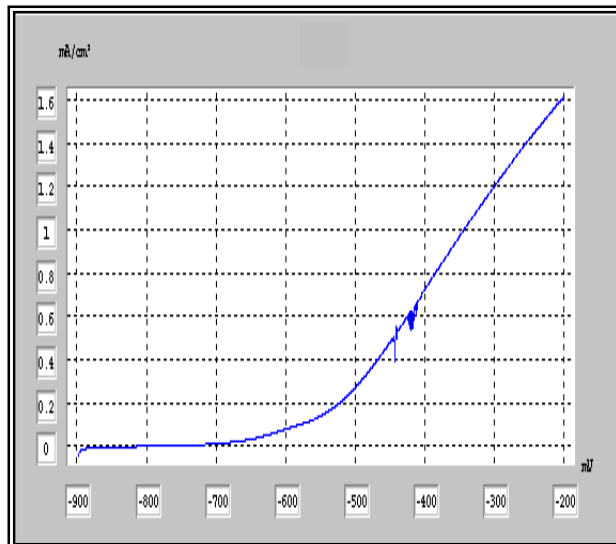
Courbes de polarisation et de Tafel : Cas d'une eau non traitée

1. Gradient de température $\Delta T = 0^\circ\text{C}$:



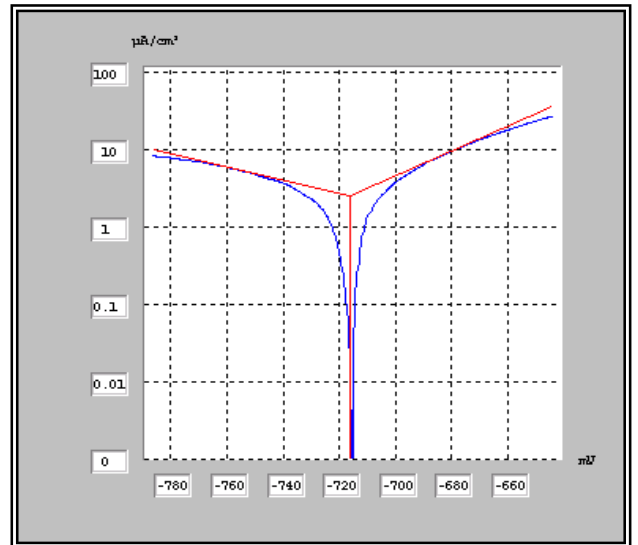
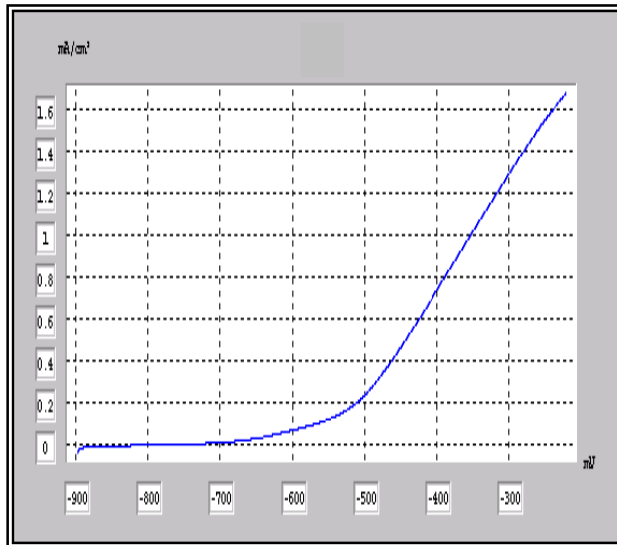
a) Acier brut de livraison

$E(i=0)$: -687.7 mV
 R_p : 2.47 kohm.cm²
 i_{corr} : 5.6544 μA/cm²
 B_a : 64.7 mV
 B_c : -115.9 mV
 $Coef.$: 1.00000000
 $Corr.$: 0.066 mm/an



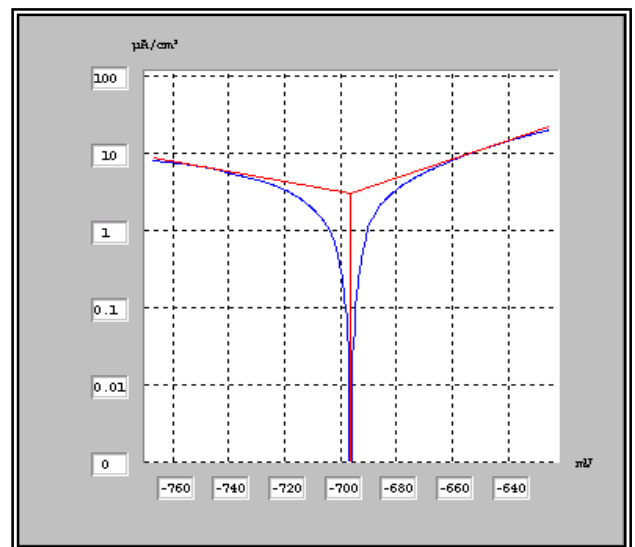
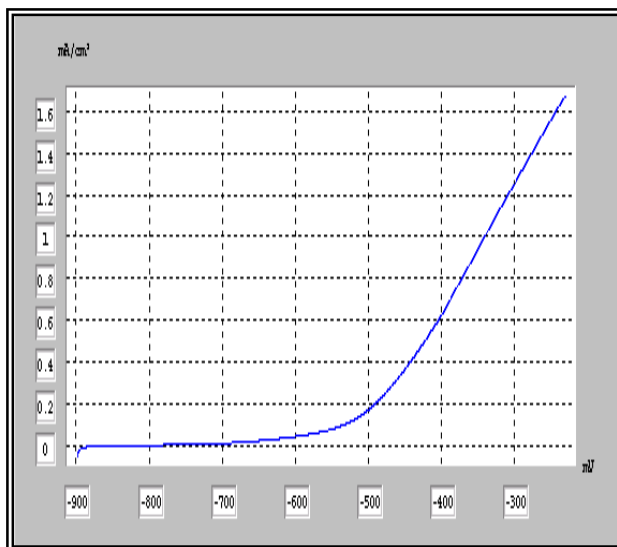
b) T_R 200°C

$E(i=0)$: -709.9 mV
 R_p : 5.50 kohm.cm²
 i_{corr} : 2.8042 μA/cm²
 B_a : 62.2 mV
 B_c : -91.2 mV
 $Coef.$: 1.00000000
 $Corr.$: 0.033 mm/an



c) $T_R = 250\text{ }^{\circ}\text{C}$

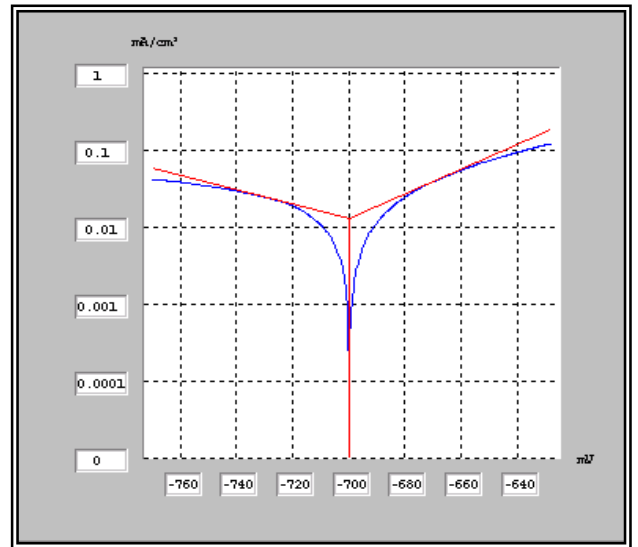
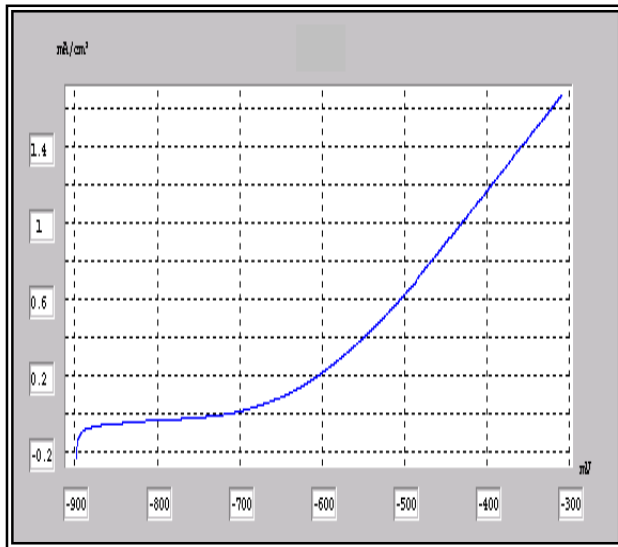
$E(i=0)$: -715.9 mV
 R_p : 11.63 kohm.cm²
 $i_{corr.}$: 2.5581 $\mu\text{A}/\text{cm}^2$
 B_a : 61.7 mV
 B_c : -118.7 mV
 $Coef.$: 1.00000000
 $Corr.$: 0.030 mm/an



d) $T_R = 300\text{ }^{\circ}\text{C}$

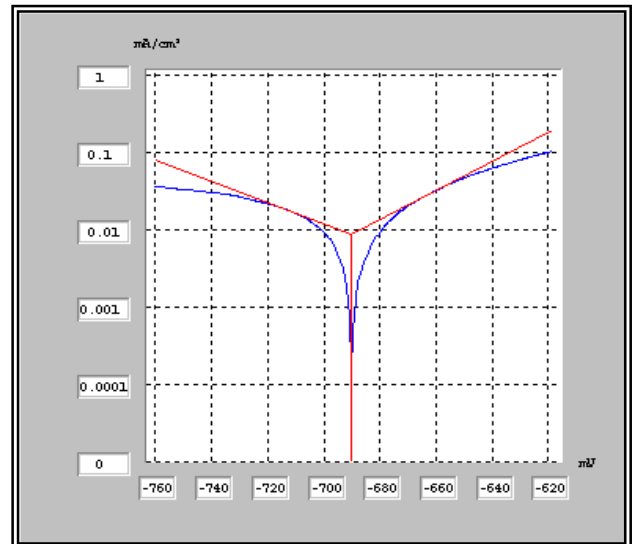
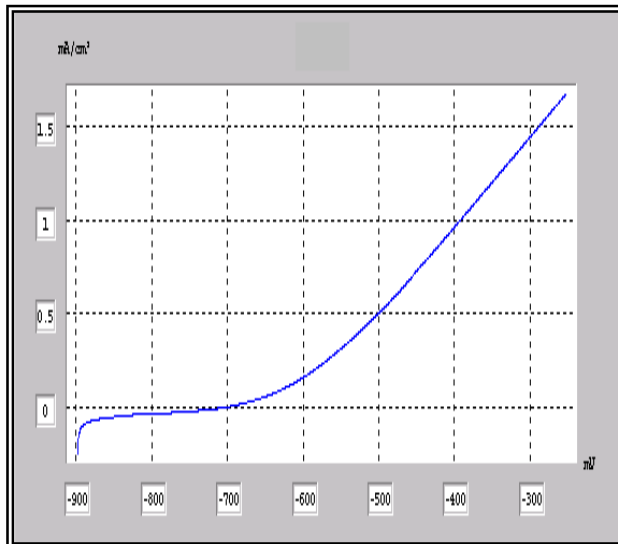
$E(i=0)$: -696.3 mV
 R_p : 17.94 kohm.cm²
 $i_{corr.}$: 3.1240 $\mu\text{A}/\text{cm}^2$
 B_a : 83.2 mV
 B_c : -157.7 mV
 $Coef.$: 1.00000000
 $Corr.$: 0.037 mm/an

2. Gradient de température $\Delta T=3^{\circ}\text{C}$:



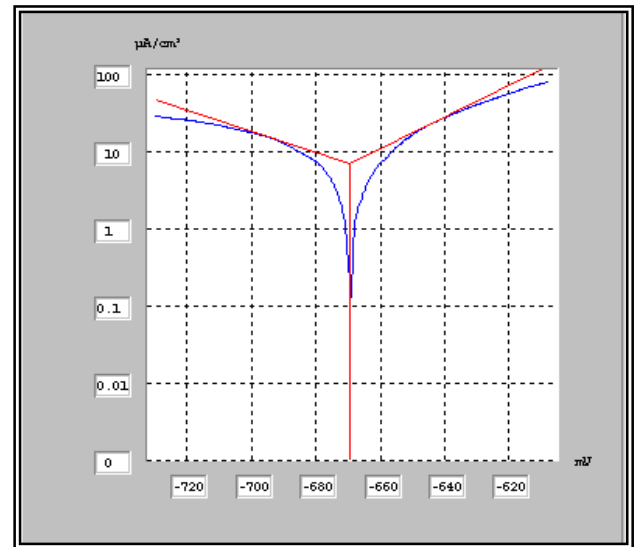
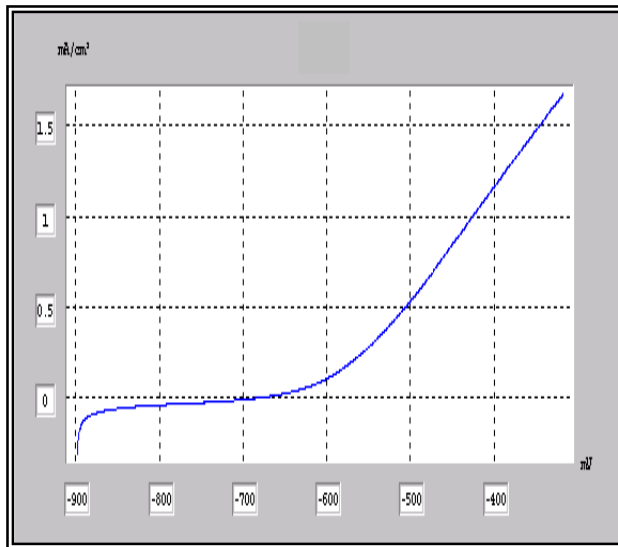
a) Acier brut de livraison

$E(i=0)$: -699.8 mV
 R_p : 816.99 ohm.cm²
 $i_{corr.}$: 0.0132 mA/cm²
 B_a : 61.9 mV
 B_c : -107.4 mV
 $Coef.$: 1.00000000
 $Corr.$: 0.155 mm/an



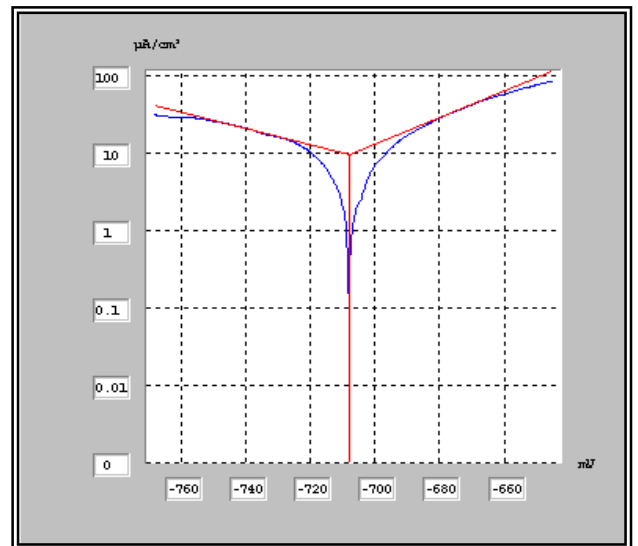
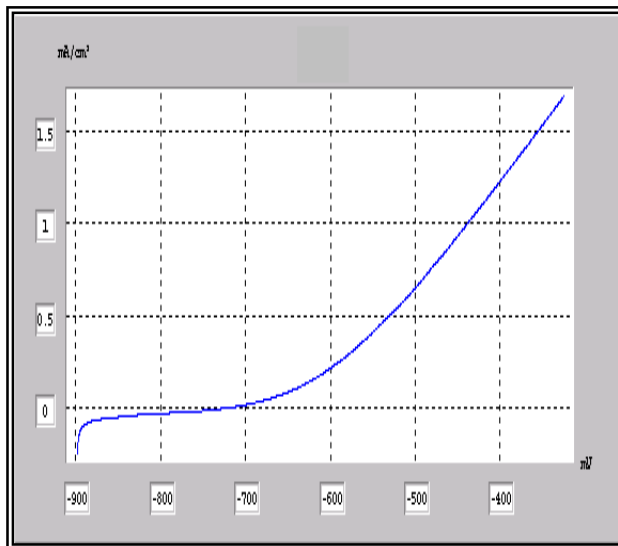
b) $T_R = 200^{\circ}\text{C}$

$E(i=0)$: -690.2 mV
 R_p : 1.10 kohm.cm²
 $i_{corr.}$: 0.0089 mA/cm²
 B_a : 53.2 mV
 B_c : -73.9 mV
 $Coef.$: 1.00000000
 $Corr.$: 0.105 mm/an



c) $T_R = 250\text{ }^{\circ}\text{C}$

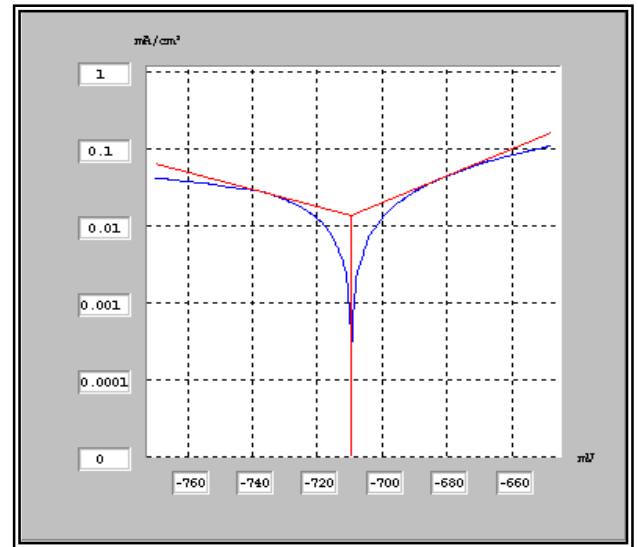
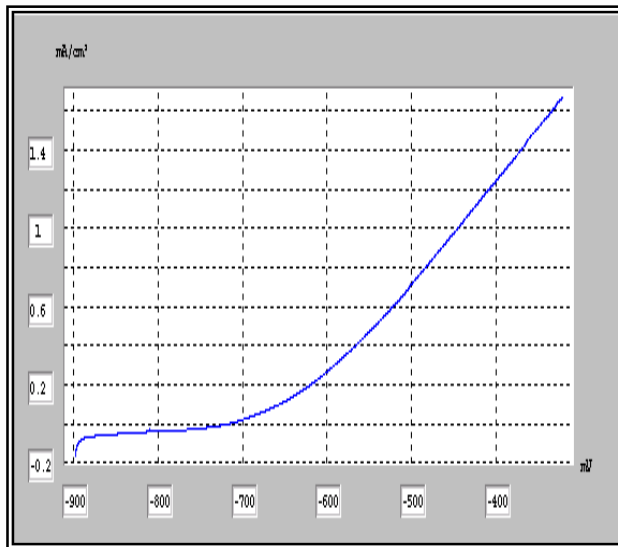
$E(i=0)$: -669.4 mV
 R_p : 1.33 kohm.cm²
 i_{corr} : 7.0517 μA/cm²
 B_a : 48.2 mV
 B_c : -72.3 mV
 $Coef.$: 1.00000000
 $Corr.$: 0.082 mm/an



d) $T_R = 300\text{ }^{\circ}\text{C}$

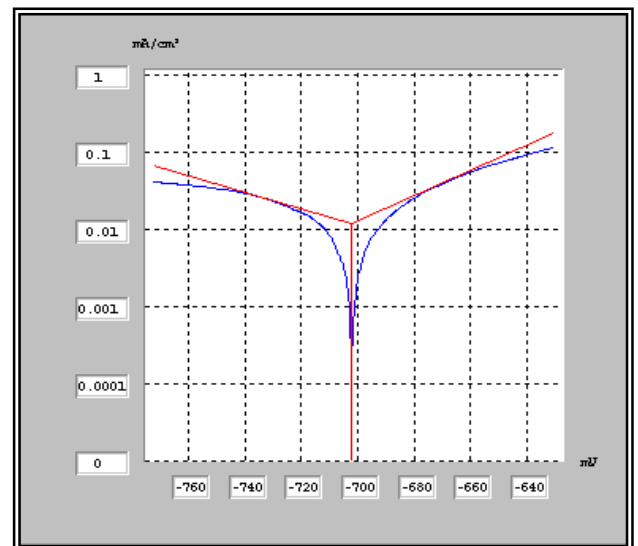
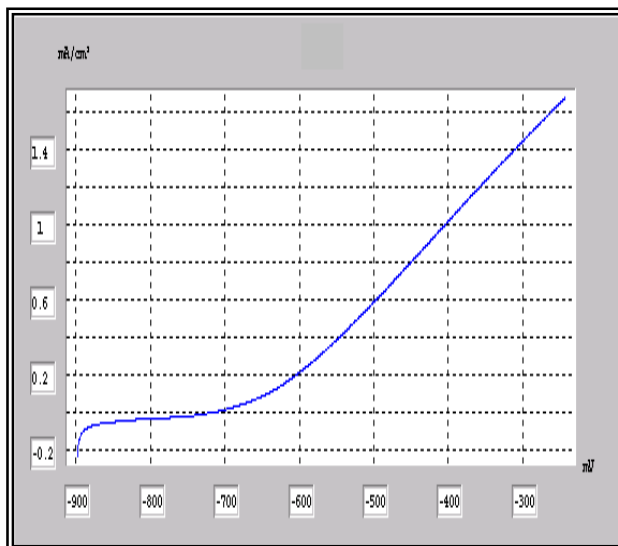
$E(i=0)$: -707.8 mV
 R_p : 1.19 kohm.cm²
 i_{corr} : 9.6528 μA/cm²
 B_a : 58.2 mV
 B_c : -93.2 mV
 $Coef.$: 1.00000000
 $Corr.$: 0.113 mm/an

3. Gradient de température $\Delta T=6^{\circ}\text{C}$:



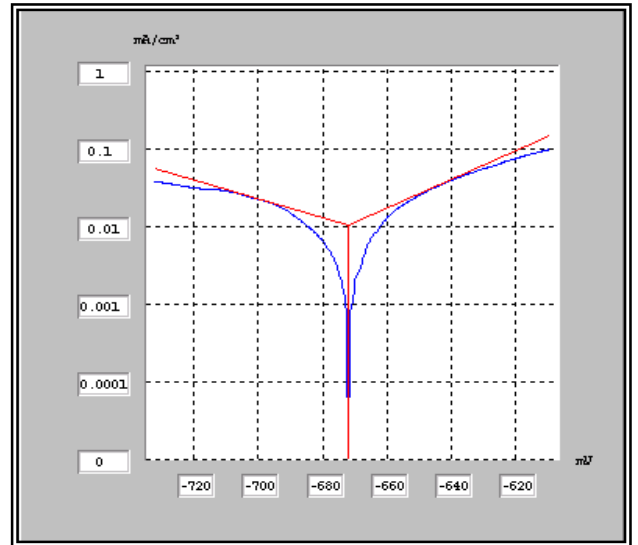
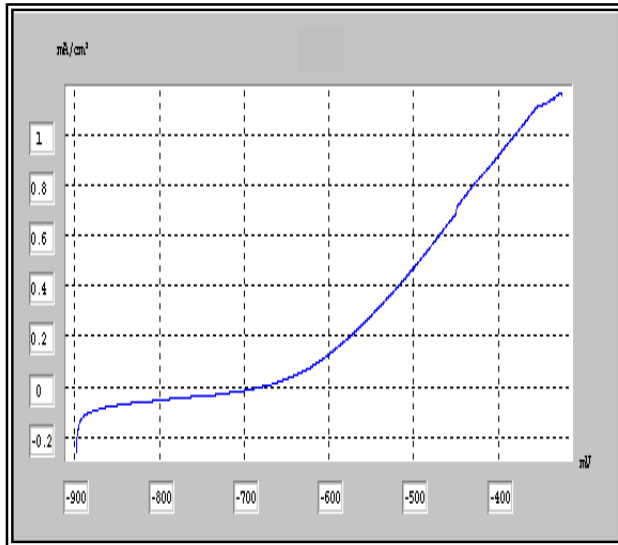
a) Acier brut de livraison

E(i=0) : -709.5 mV
Rp : 834.87 ohm.cm²
i corr. : 0.0140 mA/cm²
Ba : 57.4 mV
Bc : -90.0 mV
Coef. : 1.00000000
Corr. : 0.163 mm/an



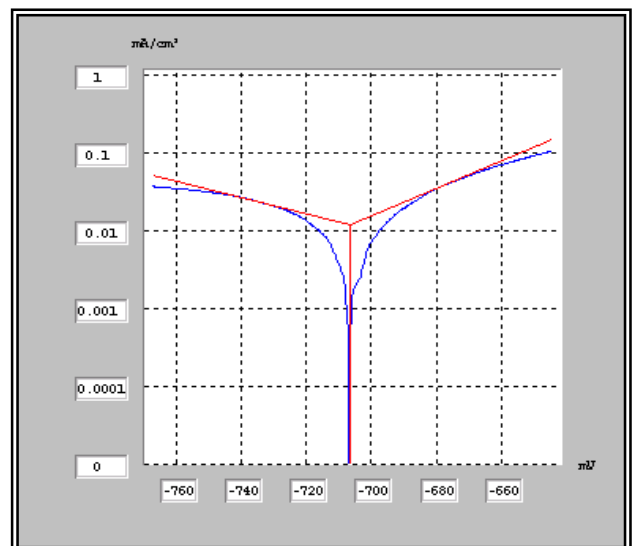
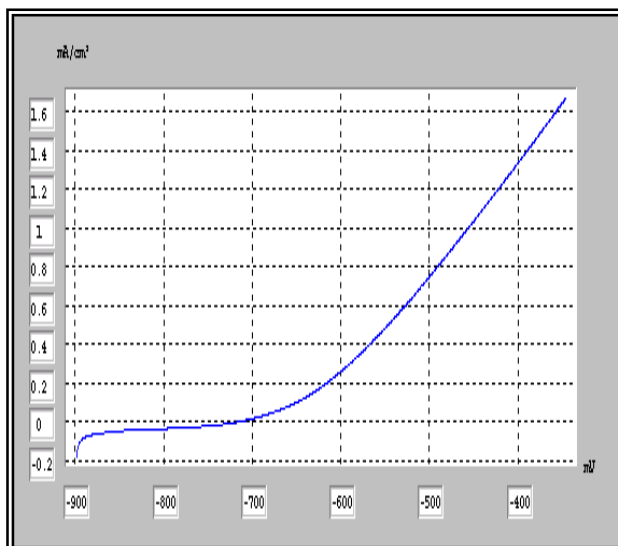
b) $T_R=200^{\circ}\text{C}$

E(i=0) : -702.1 mV
Rp : 910.95 ohm.cm²
i corr. : 0.0120 mA/cm²
Ba : 61.2 mV
Bc : -92.0 mV
Coef. : 1.00000000
Corr. : 0.140 mm/an



c) $T_R = 250\text{ }^{\circ}\text{C}$

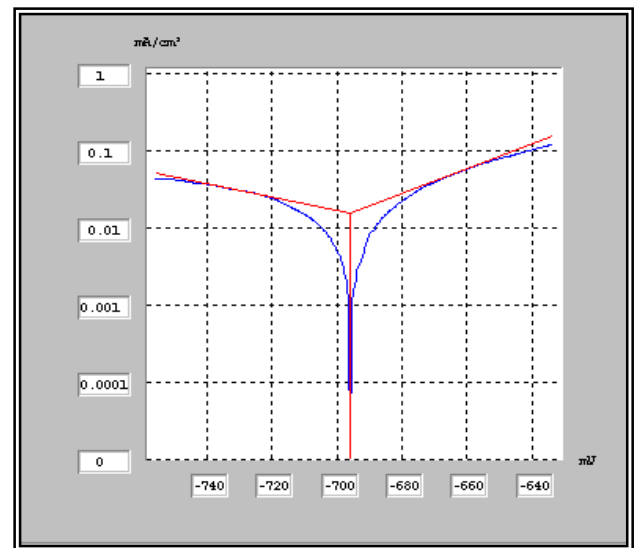
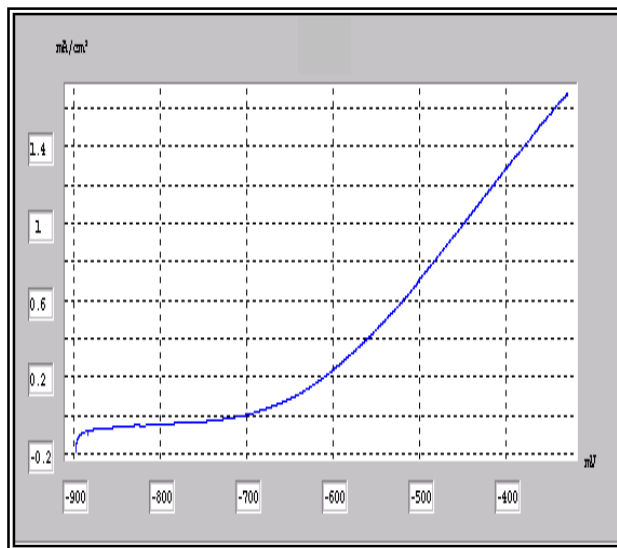
$E(i=0)$: -671.9 mV
 R_p : 1.09 kohm.cm²
 $i_{corr.}$: 0.0105 mA/cm²
 B_a : 54.4 mV
 B_c : -83.0 mV
 $Coef.$: 1.00000000
 $Corr.$: 0.123 mm/an



d) $T_R = 300\text{ }^{\circ}\text{C}$

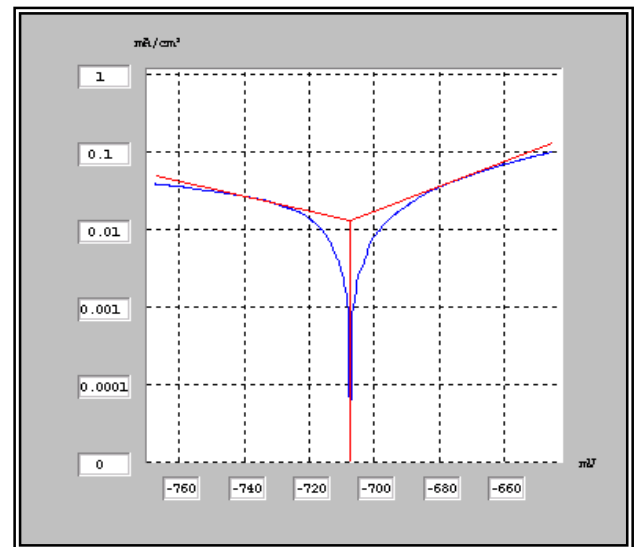
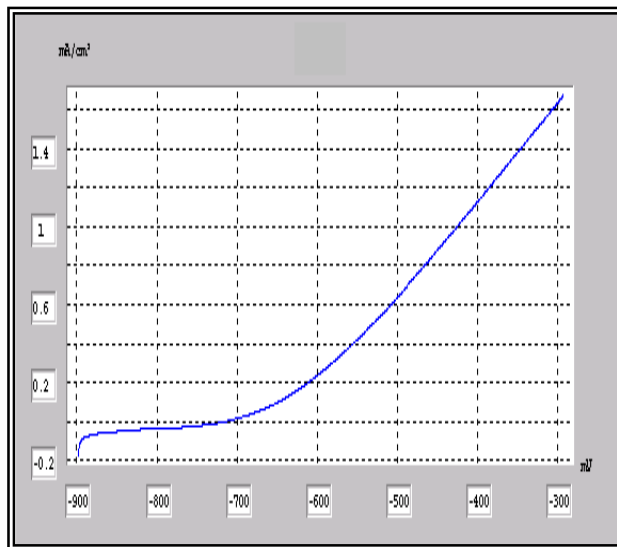
$E(i=0)$: -706.5 mV
 R_p : 1.04 kohm.cm²
 $i_{corr.}$: 0.0121 mA/cm²
 B_a : 57.1 mV
 B_c : -94.7 mV
 $Coef.$: 1.00000000
 $Corr.$: 0.142 mm/an

4. Gradient de température $\Delta T=9\text{ }^{\circ}\text{C}$:



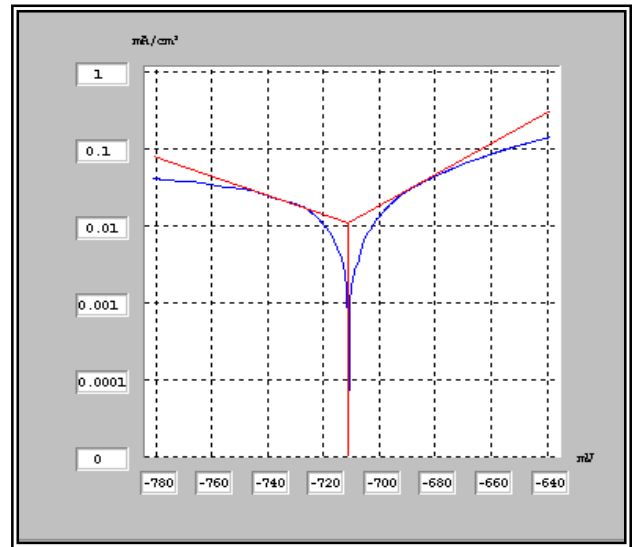
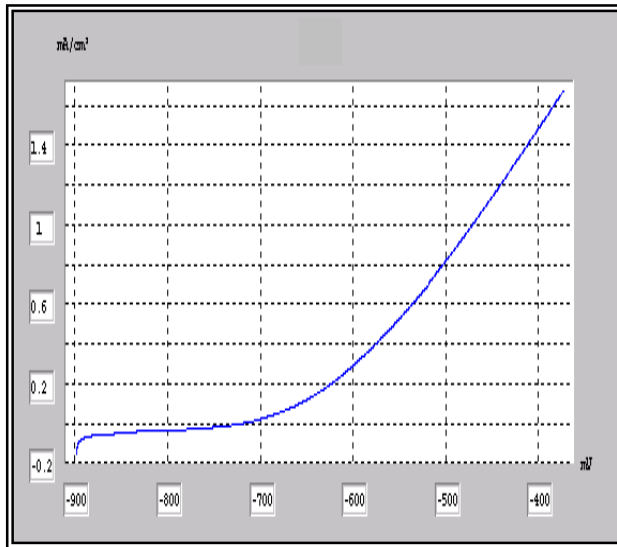
a) Acier brut de livraison

$E(i=0)$: -695.8 mV
 R_p : 793.70 ohm.cm²
 $i_{corr.}$: 0.0156 mA/cm²
 B_a : 61.9 mV
 B_c : -117.3 mV
 $Coef.$: 1.00000000
 $Corr.$: 0.182 mm/an



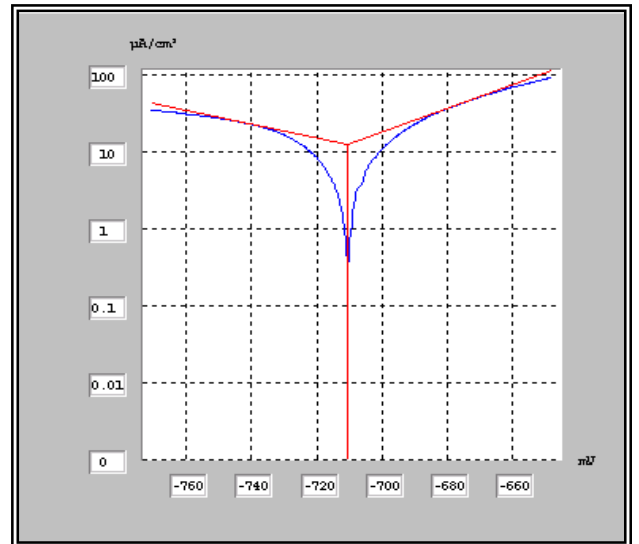
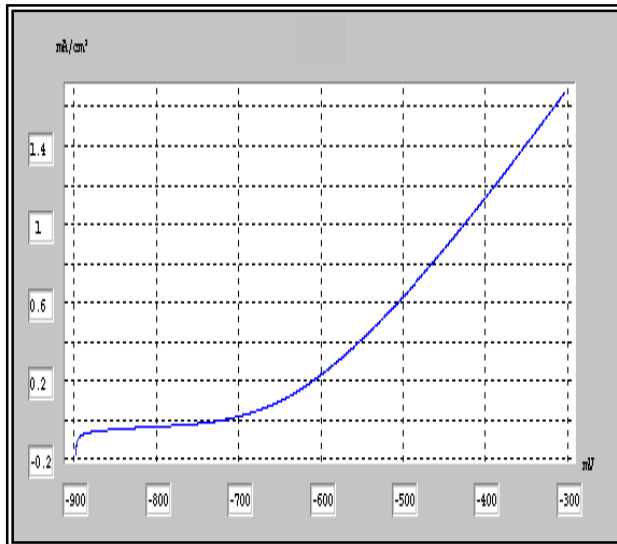
b) $T_R=200\text{ }^{\circ}\text{C}$

$E(i=0)$: -707.3 mV
 R_p : 1.01 kohm.cm²
 $i_{corr.}$: 0.0131 mA/cm²
 B_a : 62.4 mV
 B_c : -107.4 mV
 $Coef.$: 1.00000000
 $Corr.$: 0.153 mm/an



d) $T_R = 250\text{ }^{\circ}\text{C}$

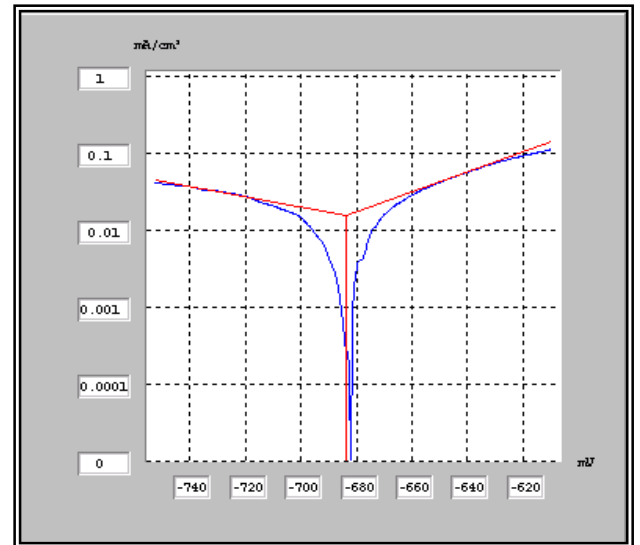
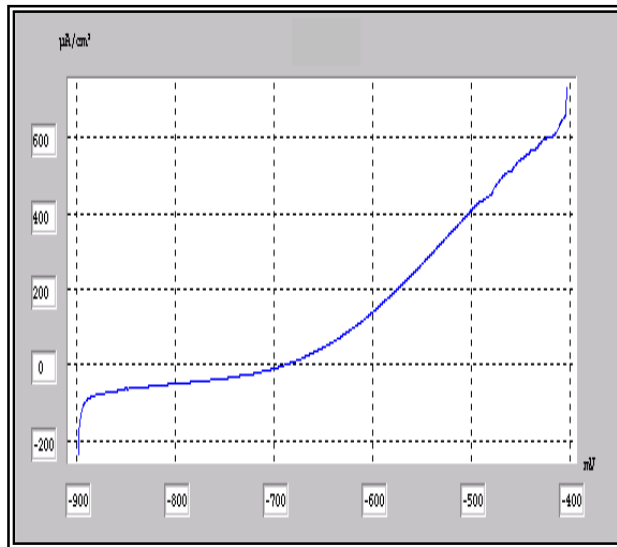
$E(i=0)$: -711.0 mV
 R_p : 673.04 ohm.cm²
 i_{corr} : 0.0111 mA/cm²
 B_a : 49.6 mV
 B_c : -81.1 mV
 $Coef.$: 1.00000000
 $Corr.$: 0.130 mm/an



c) $T_R = 300\text{ }^{\circ}\text{C}$

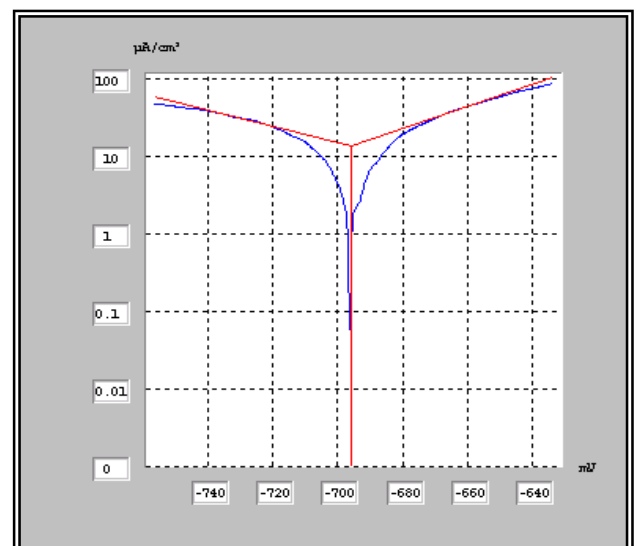
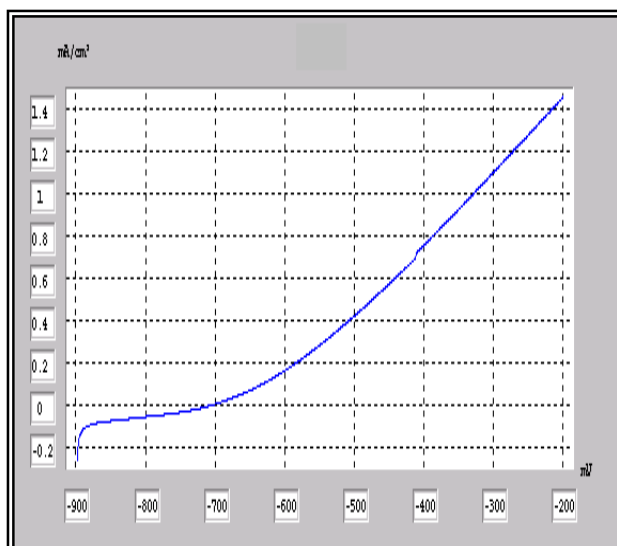
$E(i=0)$: -710.7 mV
 R_p : 1.13 kohm.cm²
 i_{corr} : 12.5555 μA/cm²
 B_a : 65.2 mV
 B_c : -112.7 mV
 $Coef.$: 1.00000000
 $Corr.$: 0.147 mm/an

5. Gradient de température $\Delta T = 12\text{ }^{\circ}\text{C}$:



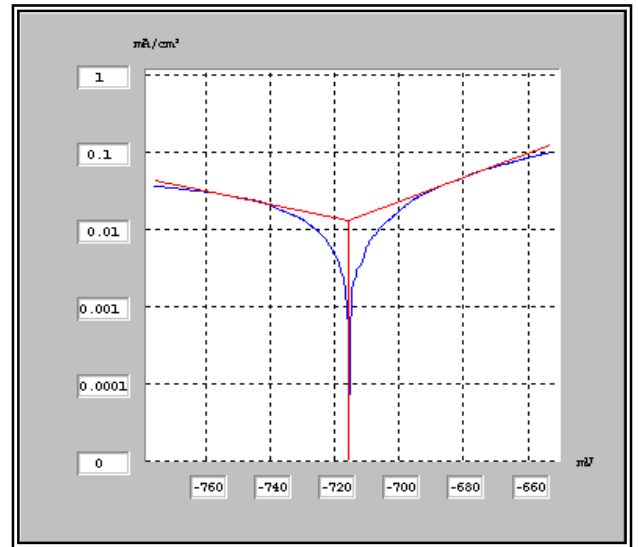
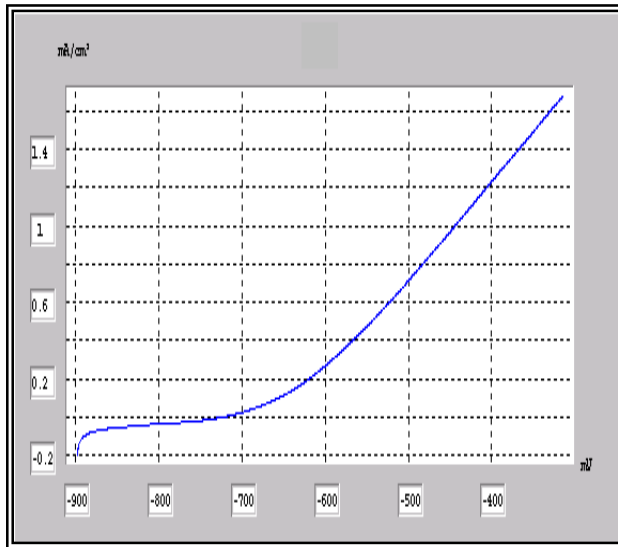
a) Acier brut de livraison

$E(i=0)$: -683.7 mV
 R_p : 3.02 kohm.cm²
 $i_{corr.}$: 0.0157 mA/cm²
 B_a : 77.1 mV
 B_c : -157.0 mV
Coef. : 1.0000000
Corr. : 0.184 mm/an



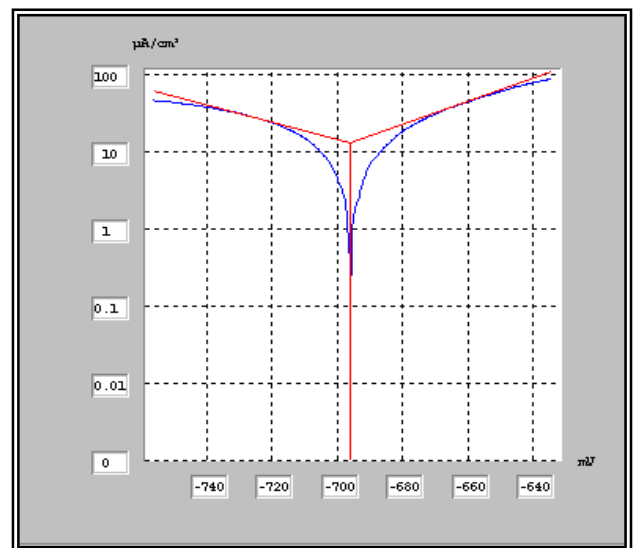
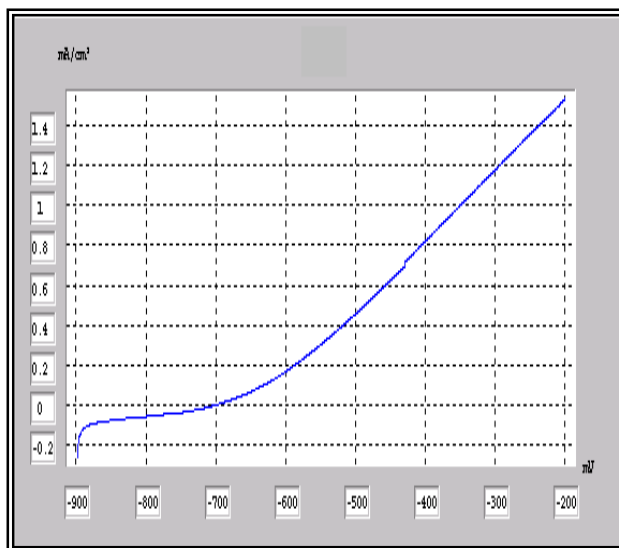
b) $T_R = 200\text{ }^{\circ}\text{C}$

$E(i=0)$: -696.1 mV
 R_p : 925.70 ohm.cm²
 $i_{corr.}$: 14.1235 μA/cm²
 B_a : 71.1 mV
 B_c : -98.0 mV
Coef. : 1.0000000
Corr. : 0.165 mm/an



c) $T_R = 250\text{ °C}$

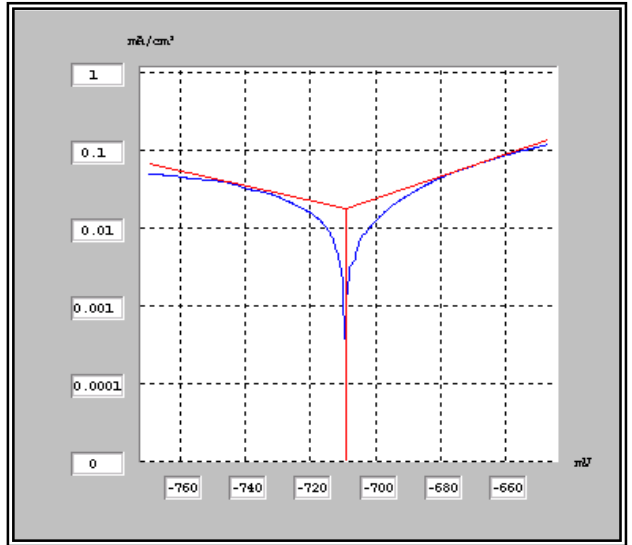
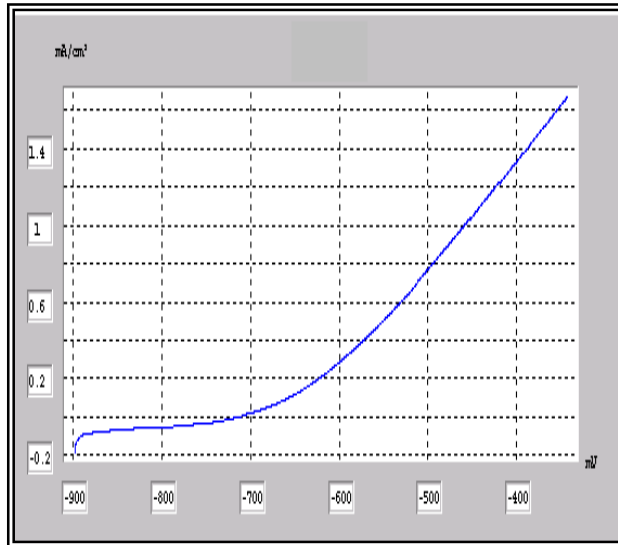
$E(i=0)$: -715.5 mV
 R_p : 978.46 ohm.cm²
 i_{corr} : 0.0134 mA/cm²
 B_a : 64.0 mV
 B_c : -121.2 mV
Coef. : 1.00000000
Corr. : 0.157 mm/an



d) $T_R = 300\text{ °C}$

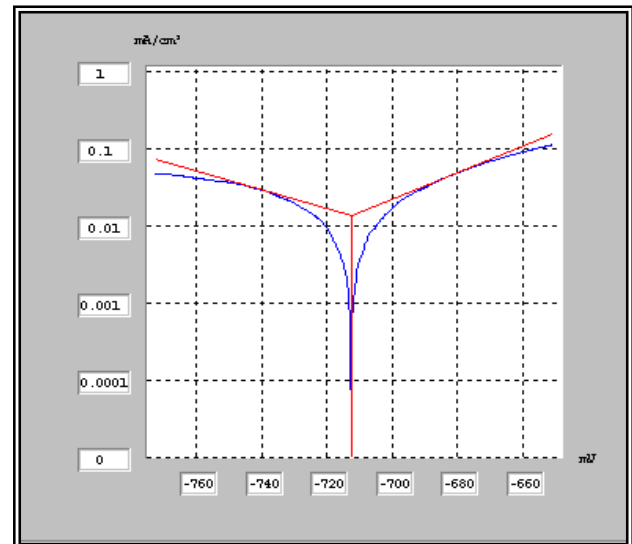
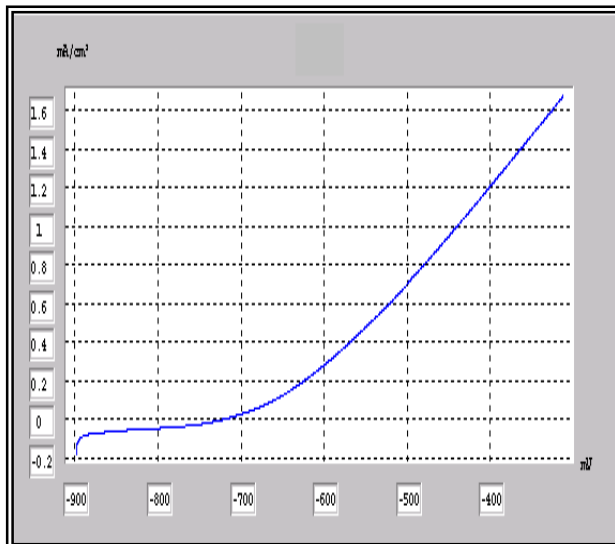
$E(i=0)$: -695.9 mV
 R_p : 900.24 ohm.cm²
 i_{corr} : 13.4486 μA/cm²
 B_a : 67.6 mV
 B_c : -89.5 mV
Coef. : 1.00000000
Corr. : 0.157 mm/an

6. Gradient de température $\Delta T=16\text{ }^{\circ}\text{C}$:



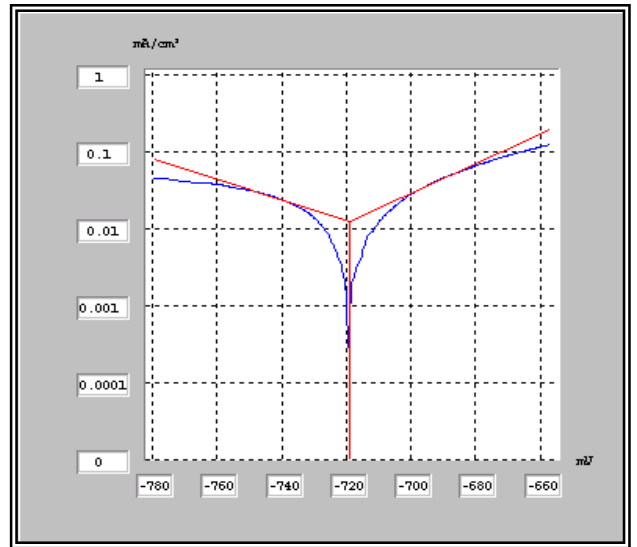
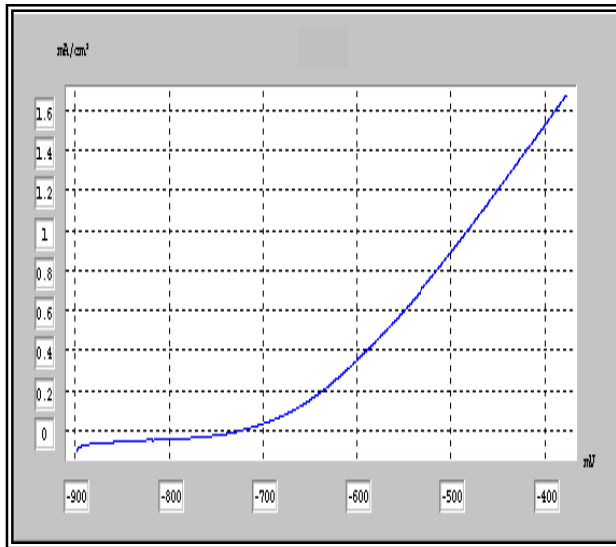
a) Acier brut de livraison

$E(i=0)$: -709.1 mV
 R_p : 588.23 ohm.cm²
 i_{corr} : 0.0181 mA/cm²
 B_a : 70.8 mV
 B_c : -98.3 mV
 $Coef.$: 0.99961605
 $Corr.$: 0.212 mm/an



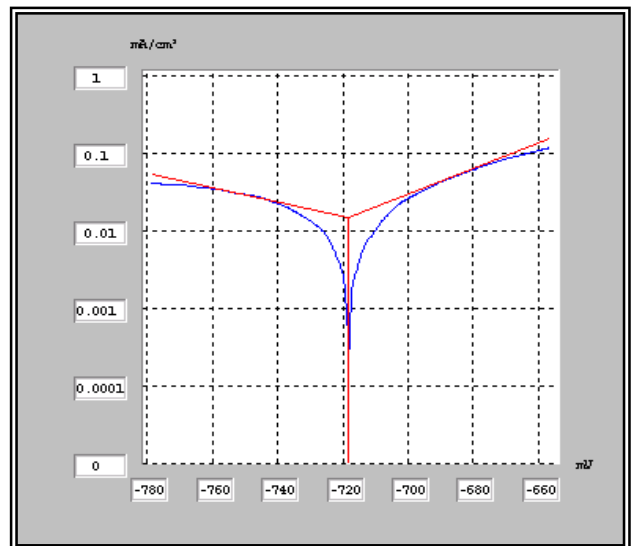
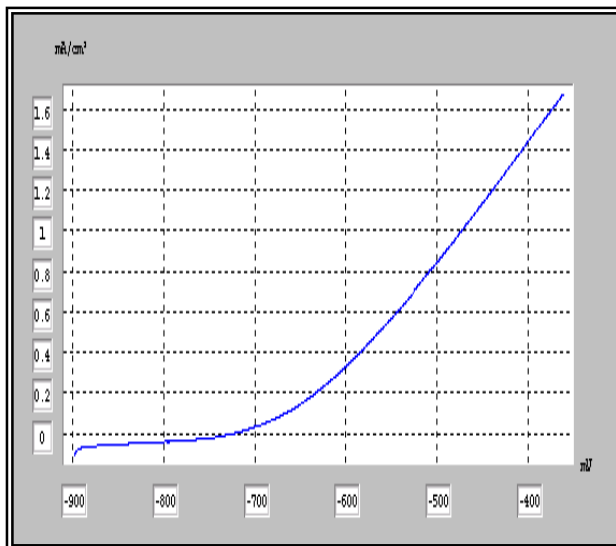
b) $T_R = 200\text{ }^{\circ}\text{C}$

$E(i=0)$: -712.5 mV
 R_p : 777.02 ohm.cm²
 i_{corr} : 0.0137 mA/cm²
 B_a : 57.9 mV
 B_c : -82.1 mV
 $Coef.$: 1.00000000
 $Corr.$: 0.160 mm/an



c) $T_R = 250\text{ °C}$

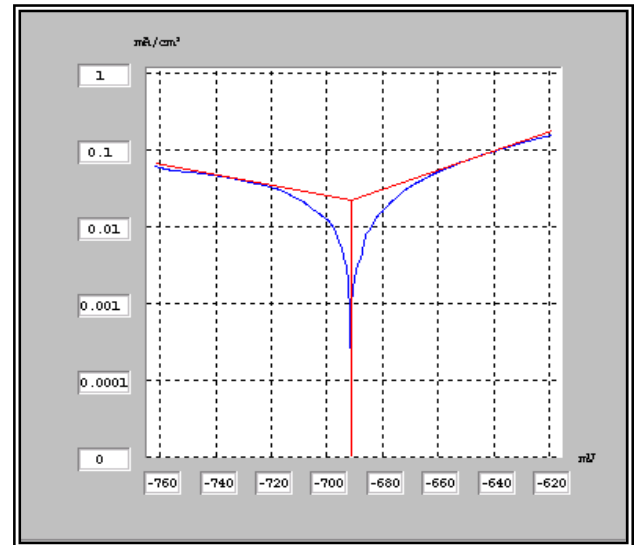
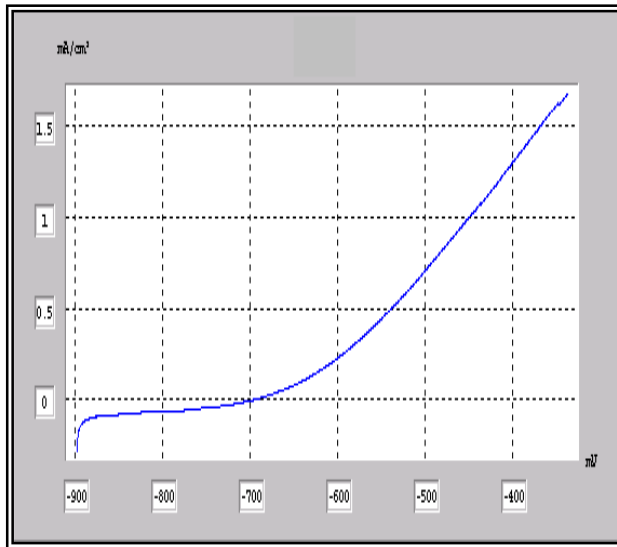
$E(i=0)$: -719.1 mV
 R_p : 820.76 ohm.cm²
 i_{corr} : 0.0130 mA/cm²
 B_a : 52.6 mV
 B_c : -75.5 mV
 $Coef.$: 1.00000000
 $Corr.$: 0.152 mm/an



d) $T_R = 300\text{ °C}$

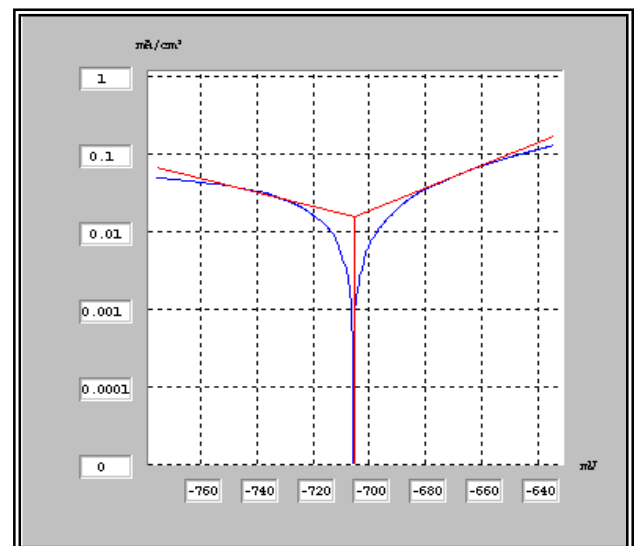
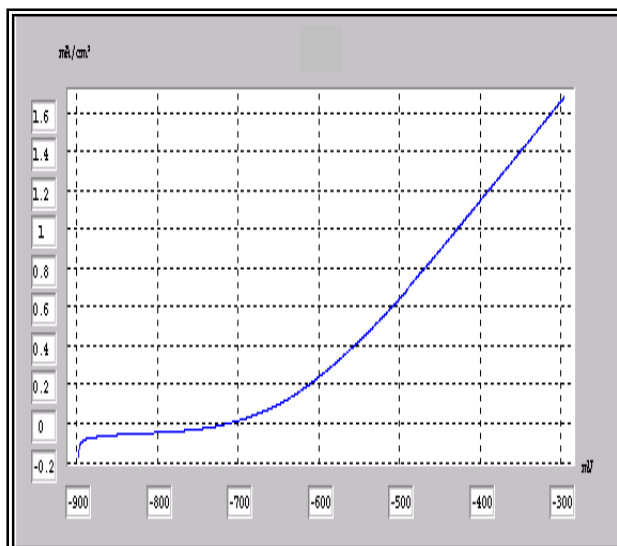
$E(i=0)$: -718.2 mV
 R_p : 644.56 ohm.cm²
 i_{corr} : 0.0149 mA/cm²
 B_a : 60.4 mV
 B_c : -106.8 mV
 $Coef.$: 1.00000000
 $Corr.$: 0.175 mm/an

7. Gradient de température $\Delta T=20\text{ }^{\circ}\text{C}$:



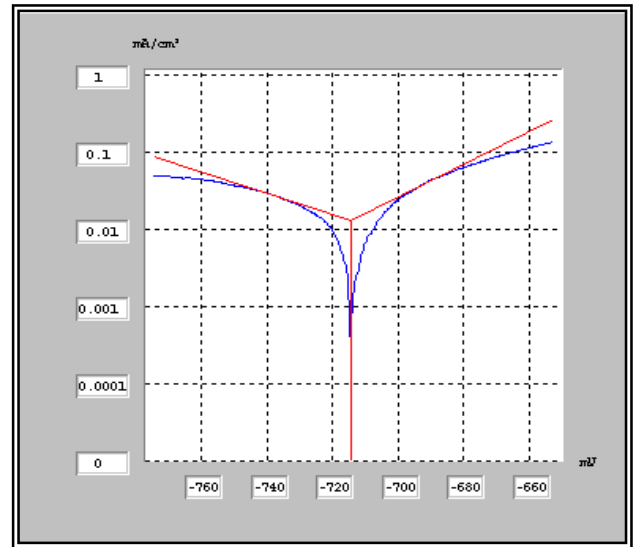
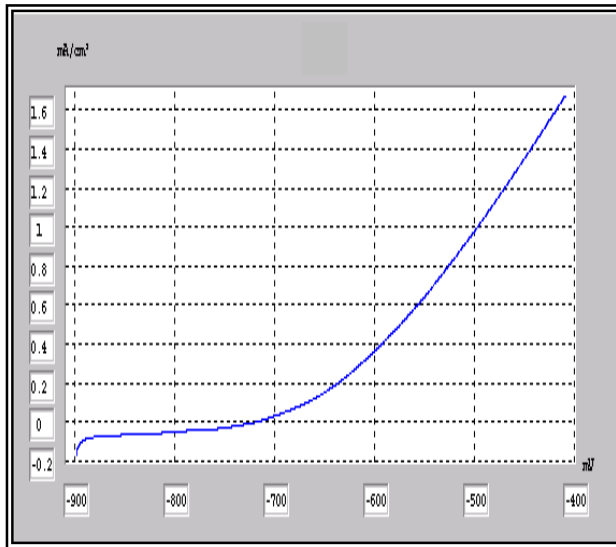
a) Acier brut de livraison

$E(i=0)$: -691.2 mV
 R_p : 729.94 ohm.cm²
 i_{corr} : 0.0226 mA/cm²
 B_a : 80.6 mV
 B_c : -144.5 mV
 $Coef.$: 1.00000000
 $Corr.$: 0.265 mm/an



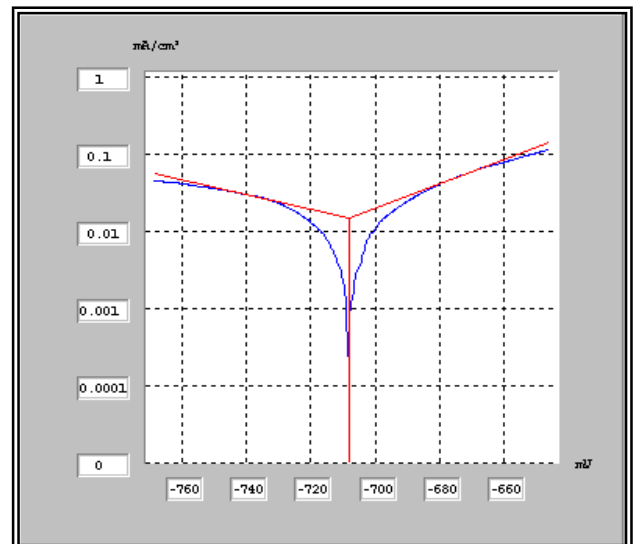
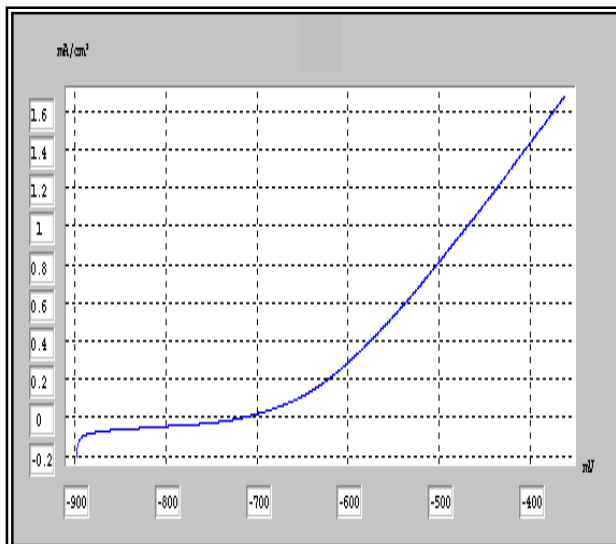
b) $T_R=200\text{ }^{\circ}\text{C}$

$E(i=0)$: -705.5 mV
 R_p : 874.73 ohm.cm²
 i_{corr} : 0.0160 mA/cm²
 B_a : 68.9 mV
 B_c : -113.2 mV
 $Coef.$: 1.00000000
 $Corr.$: 0.187 mm/an



c) $T_R = 250\text{ }^{\circ}\text{C}$

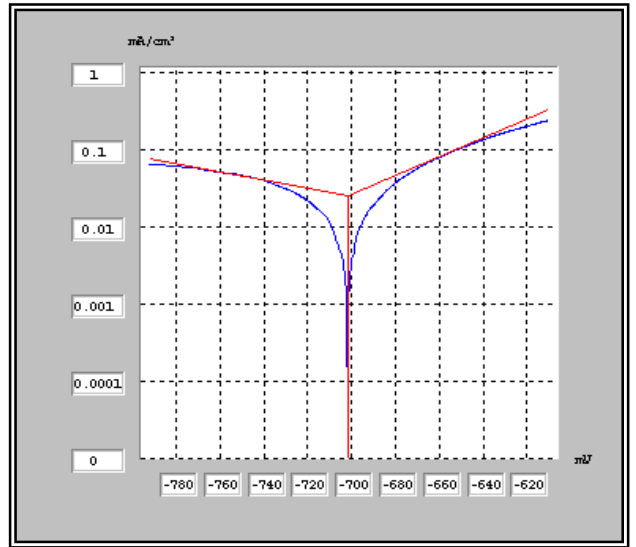
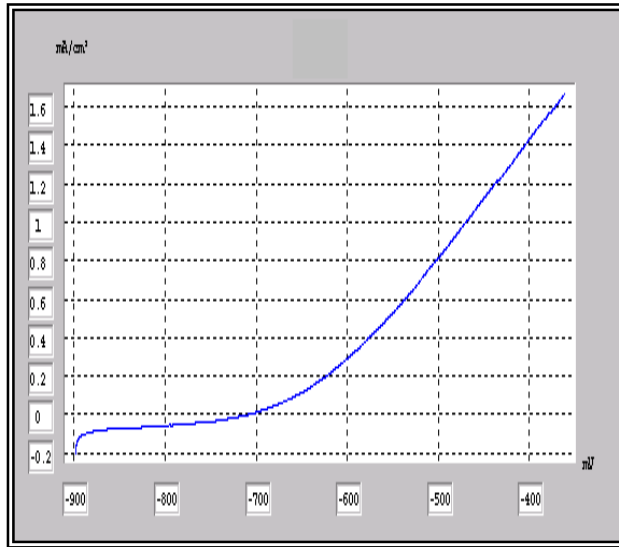
$E(i=0)$: -714.3 mV
 R_p : 623.63 ohm.cm²
 i_{corr} : 0.0135 mA/cm²
 B_a : 47.2 mV
 B_c : -74.2 mV
Coef. : 1.00000000
Corr. : 0.158 mm/an



d) $T_R = 300\text{ }^{\circ}\text{C}$

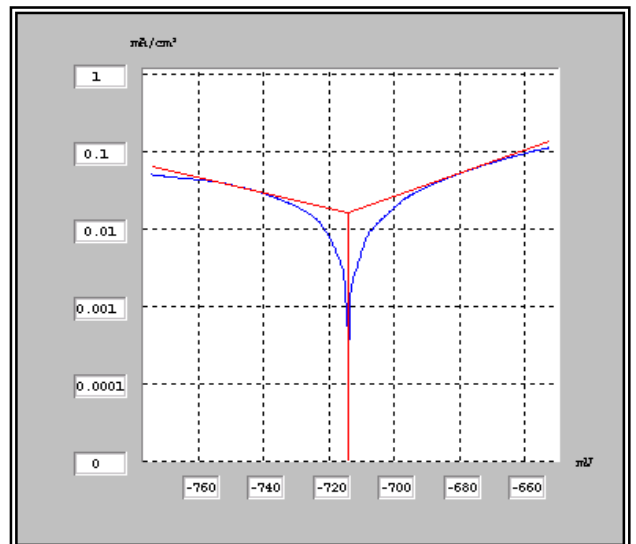
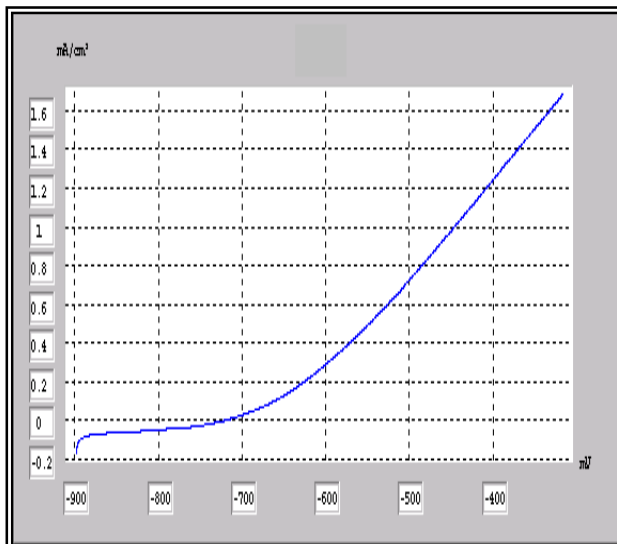
$E(i=0)$: -708.3 mV
 R_p : 896.34 ohm.cm²
 i_{corr} : 0.0152 mA/cm²
 B_a : 63.2 mV
 B_c : -107.6 mV
Coef. : 1.00000000
Corr. : 0.177 mm/an

8. Gradient de température $\Delta T=24\text{ }^{\circ}\text{C}$:



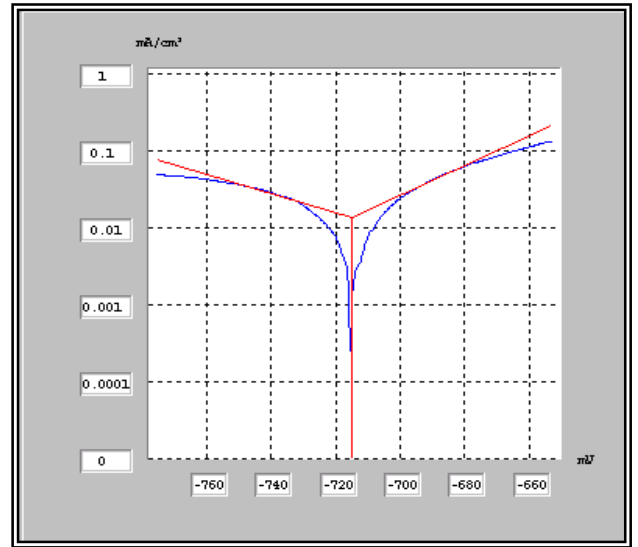
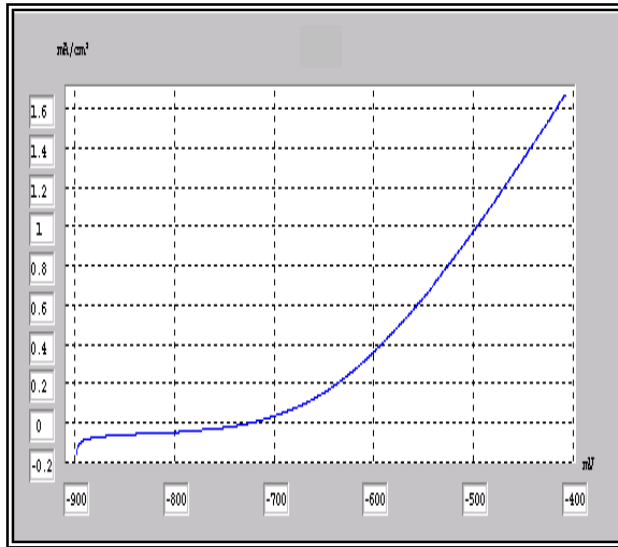
a) Acier brut de livraison

$E(i=0)$: -701.9 mV
 R_p : 457.33 ohm.cm²
 i_{corr} : 0.0254 mA/cm²
 B_a : 81.8 mV
 B_c : -186.7 mV
 $Coef.$: 1.00000000
 $Corr.$: 0.297 mm/an



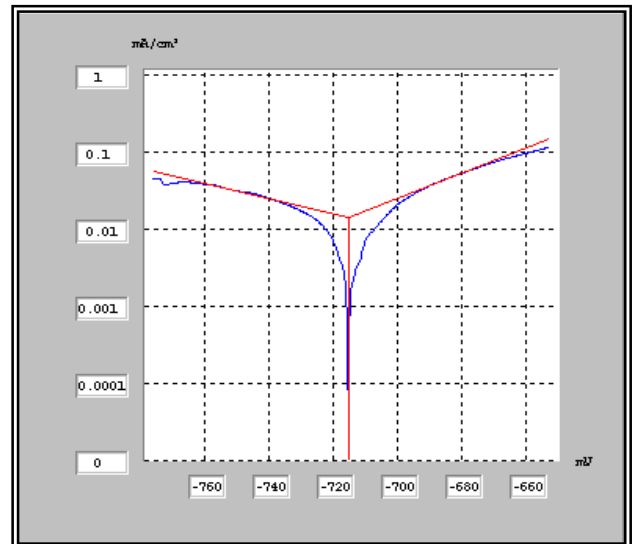
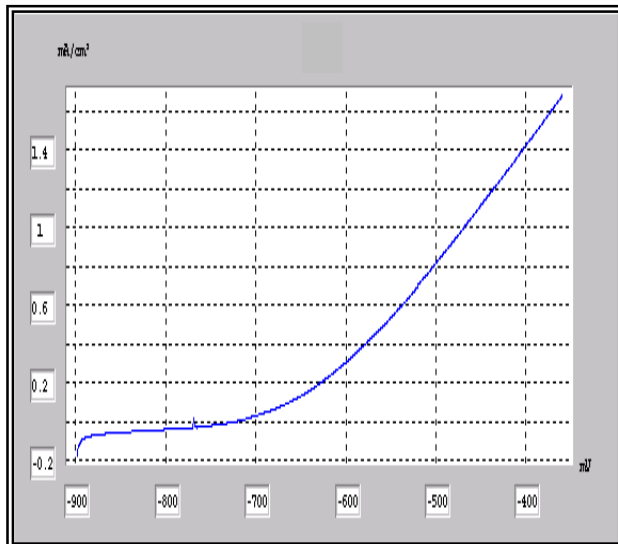
b) $T_R=200\text{ }^{\circ}\text{C}$

$E(i=0)$: -713.9 mV
 R_p : 787.69 ohm.cm²
 i_{corr} : 0.0164 mA/cm²
 B_a : 66.5 mV
 B_c : -98.7 mV
 $Coef.$: 1.00000000
 $Corr.$: 0.192 mm/an



c) $T_R = 250\text{ }^{\circ}\text{C}$

$E(i=0)$: -715.1 mV
 R_p : 680.80 ohm.cm²
 i_{corr} : 0.0142 mA/cm²
 B_a : 53.0 mV
 B_c : -83.4 mV
 $Coef.$: 1.00000000
 $Corr.$: 0.167 mm/an

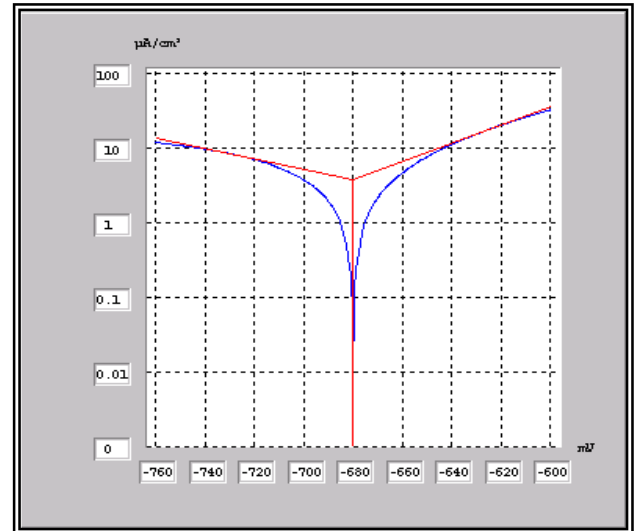
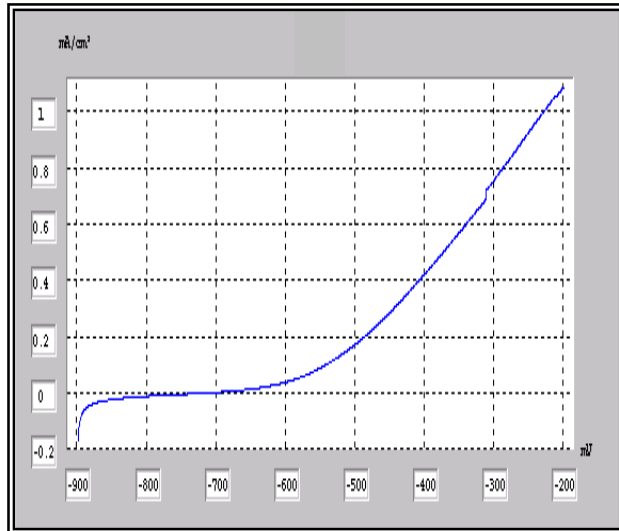


d) $T_R = 300\text{ }^{\circ}\text{C}$

$E(i=0)$: -714.9 mV
 R_p : 740.64 ohm.cm²
 i_{corr} : 0.0146 mA/cm²
 B_a : 61.2 mV
 B_c : -105.7 mV
 $Coef.$: 1.00000000
 $Corr.$: 0.171 mm/an

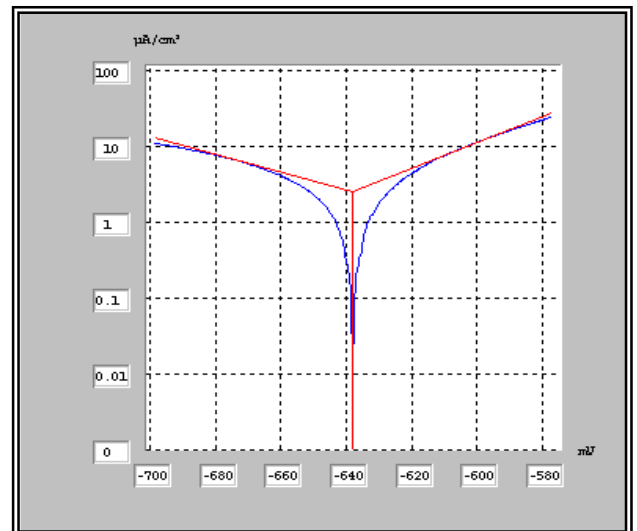
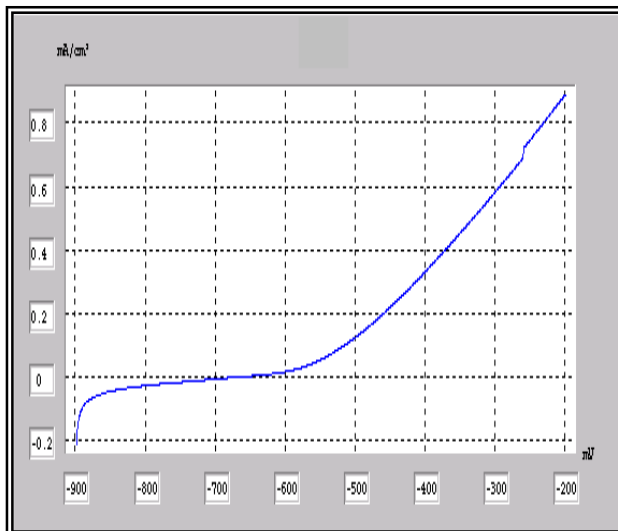
Courbes de polarisation et de Tafel : Cas d'une eau traitée par un biocide EC 6209A

1. Gradient de température $\Delta T = 0^\circ\text{C}$:



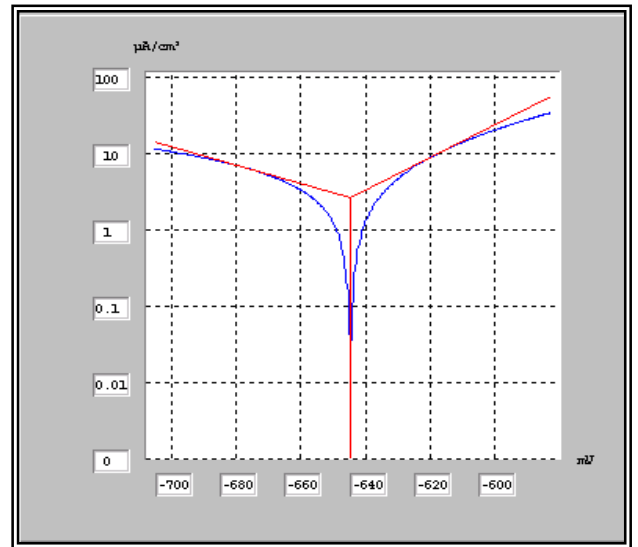
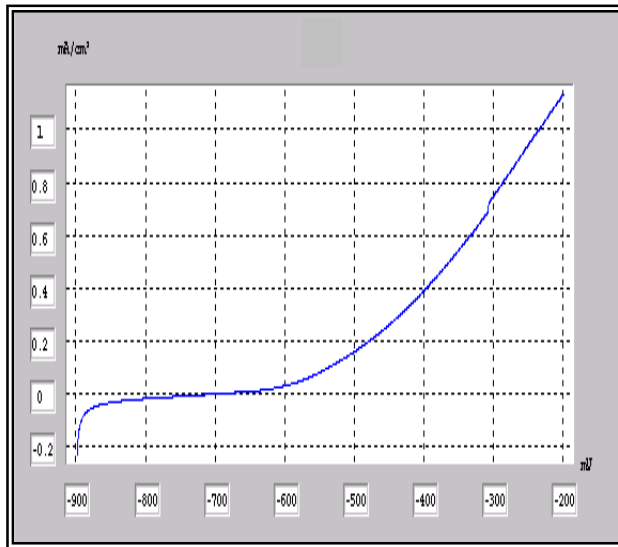
a) Acier brut de livraison

$E(i=0)$:	-680.0 mV
R_p :	5.61 kohm.cm ²
i_{corr} :	3.9422 $\mu\text{A}/\text{cm}^2$
B_a :	83.5 mV
B_c :	-149.2 mV
Coef. :	1.00000000
Corr. :	0.046 mm/an



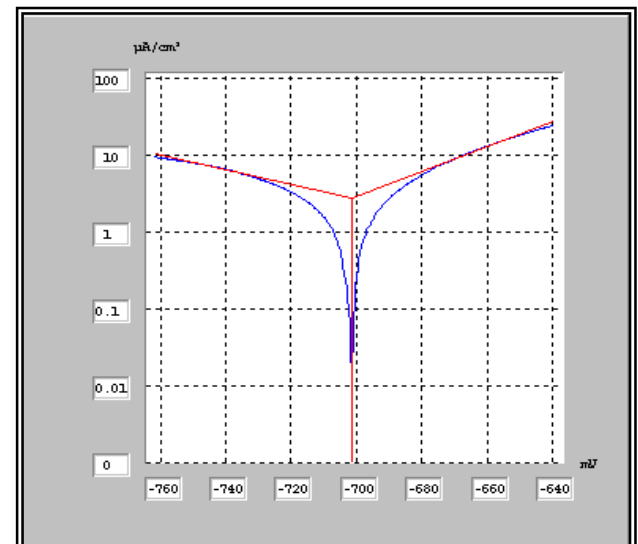
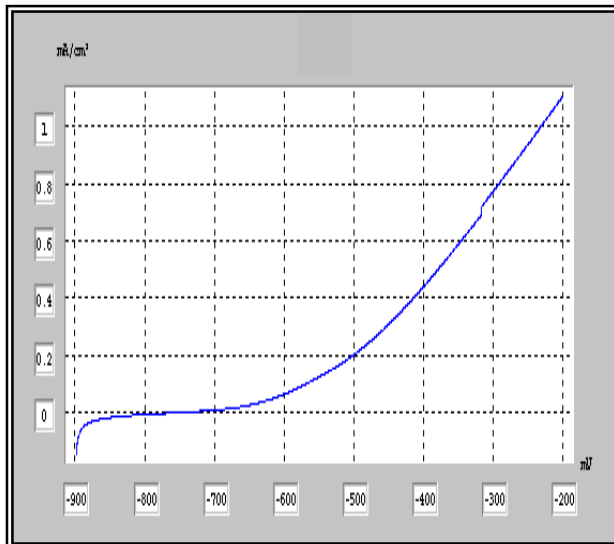
b) $T_R = 200^\circ\text{C}$

$E(i=0)$:	-638.0 mV
R_p :	5.30 kohm.cm ²
i_{corr} :	2.6266 $\mu\text{A}/\text{cm}^2$
B_a :	58.8 mV
B_c :	-86.6 mV
Coef. :	1.00000000
Corr. :	0.031 mm/an



c) $T_R = 250\text{ }^{\circ}\text{C}$

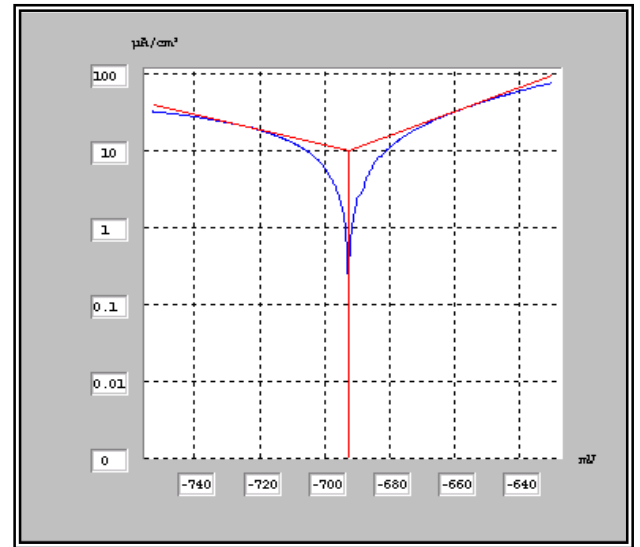
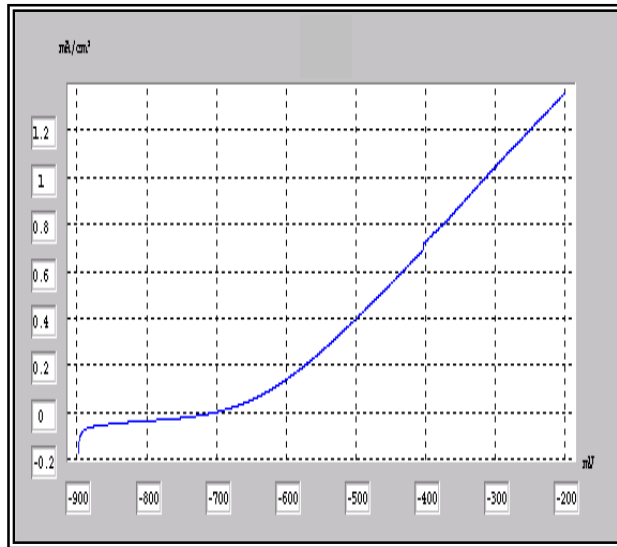
$E(i=0)$: -644.7 mV
 R_p : 4.10 kohm.cm²
 i_{corr} : 2.7123 μA/cm²
 B_a : 47.1 mV
 B_c : -84.4 mV
Coef. : 1.00000000
Corr. : 0.032 mm/an



d) $T_R = 300\text{ }^{\circ}\text{C}$

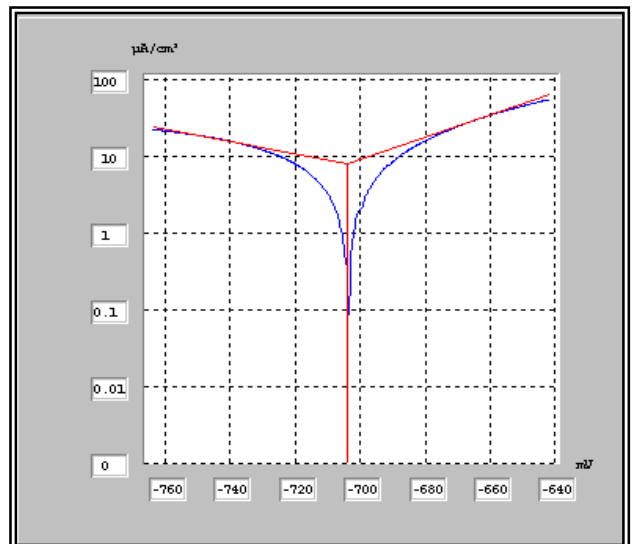
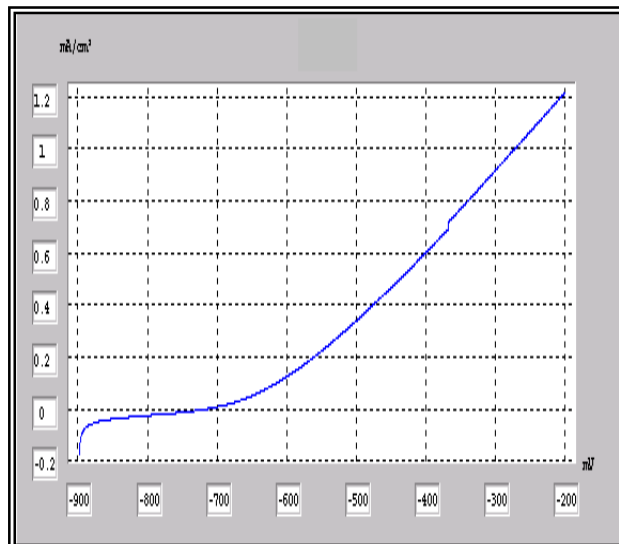
$E(i=0)$: -701.6 mV
 R_p : 6.02 kohm.cm²
 i_{corr} : 2.8566 μA/cm²
 B_a : 62.0 mV
 B_c : -104.3 mV
Coef. : 1.00000000
Corr. : 0.033 mm/an

2. Gradient de température $\Delta T = 3^\circ \text{C}$:



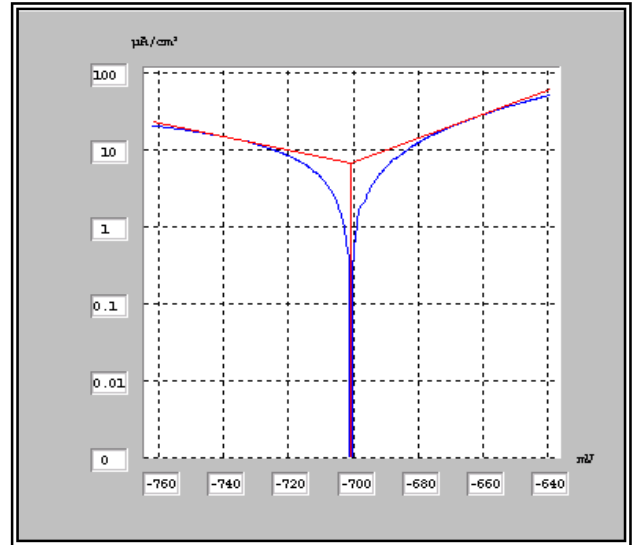
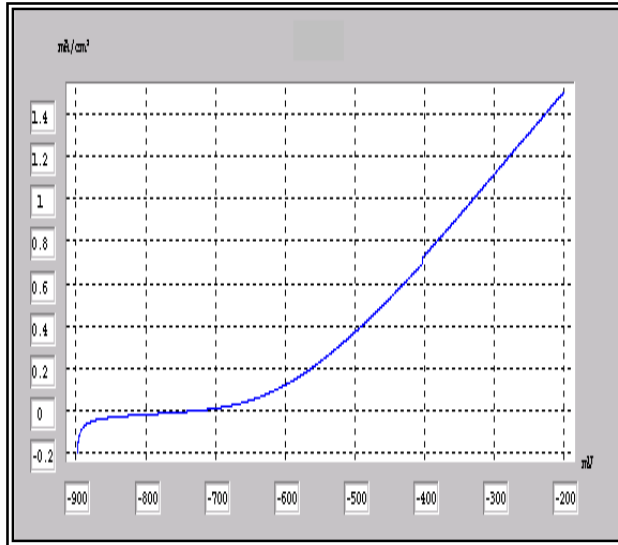
a) Acier brut de livraison

$E(i=0)$: -692.6 mV
 R_p : 1.28 kohm.cm²
 i_{corr} : 10.2514 $\mu\text{A}/\text{cm}^2$
 B_a : 64.6 mV
 B_c : -104.0 mV
 Coef. : 1.00000000
 Corr. : 0.120 mm/an



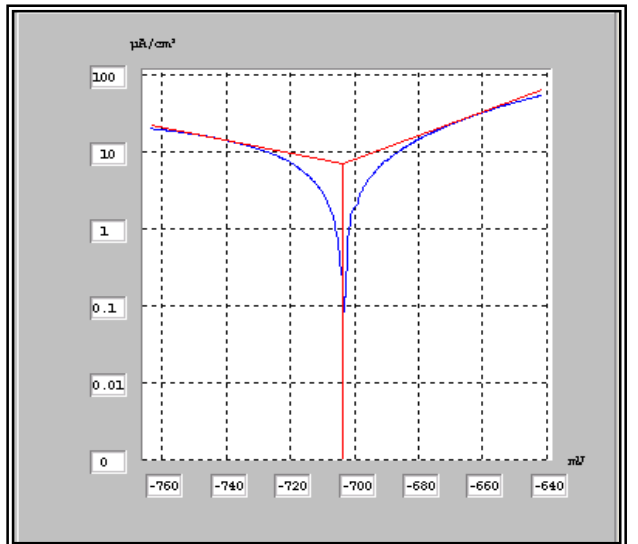
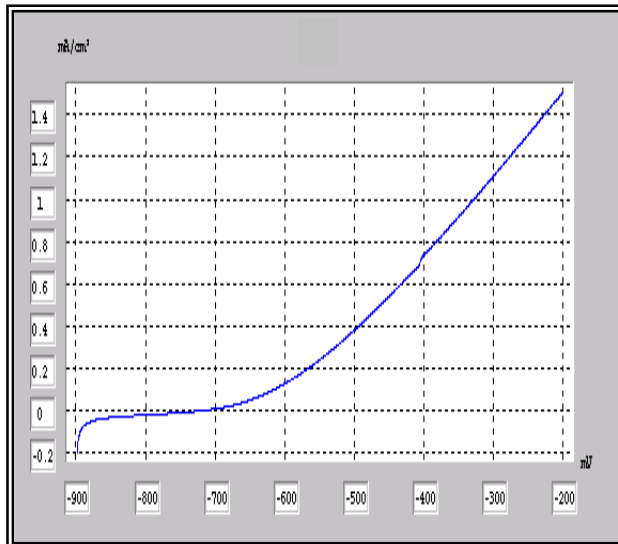
b) $T_R = 200^\circ \text{C}$

$E(i=0)$: -703.9 mV
 R_p : 1.95 kohm.cm²
 i_{corr} : 8.3266 $\mu\text{A}/\text{cm}^2$
 B_a : 70.1 mV
 B_c : -125.7 mV
 Coef. : 1.00000000
 Corr. : 0.097 mm/an



c) $T_R = 250\text{ }^{\circ}\text{C}$

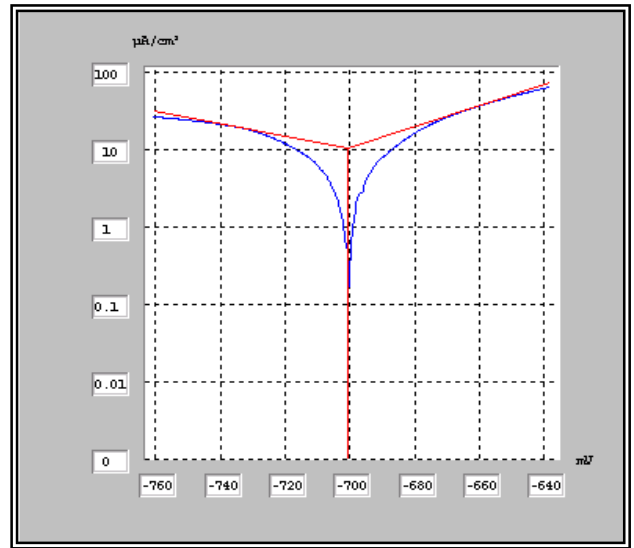
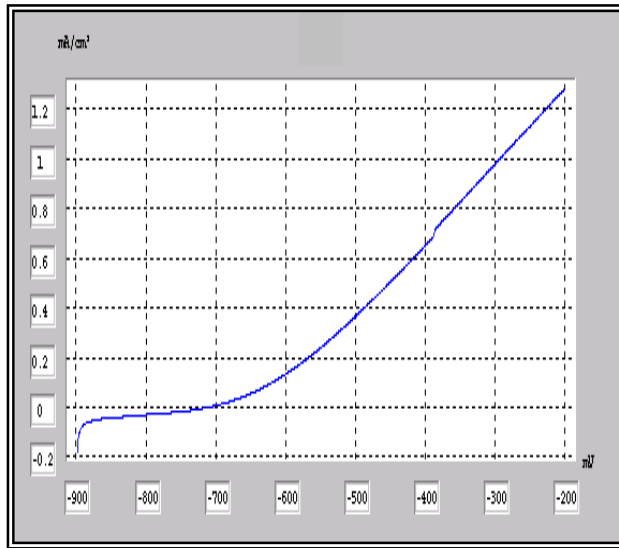
$E(i=0)$: -700.9 mV
 R_p : 2.03 kohm.cm²
 i_{corr} : 6.8402 μA/cm²
 B_a : 65.0 mV
 B_c : -114.3 mV
 $Coef.$: 1.00000000
 $Corr.$: 0.080 mm/an



d) $T_R = 300\text{ }^{\circ}\text{C}$

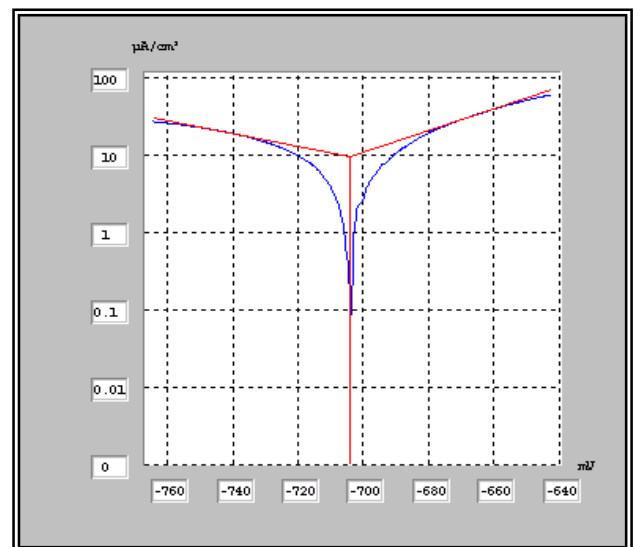
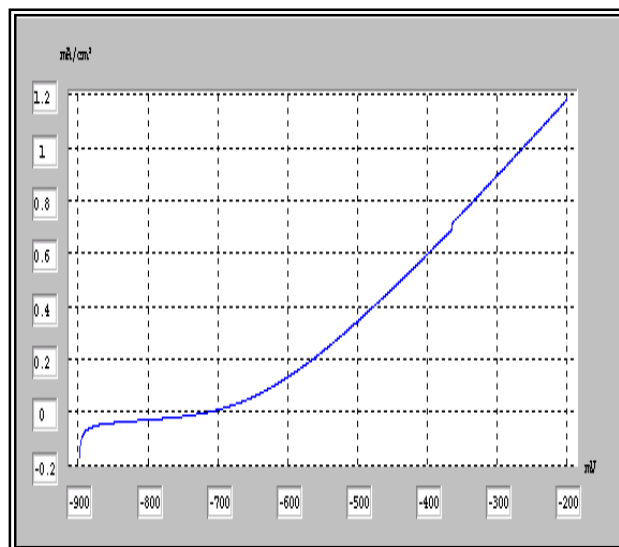
$E(i=0)$: -703.7 mV
 R_p : 2.28 kohm.cm²
 i_{corr} : 7.0222 μA/cm²
 B_a : 64.5 mV
 B_c : -116.6 mV
 $Coef.$: 1.00000000
 $Corr.$: 0.082 mm/an

3. Gradient de température $\Delta T=6\text{ }^{\circ}\text{C}$:



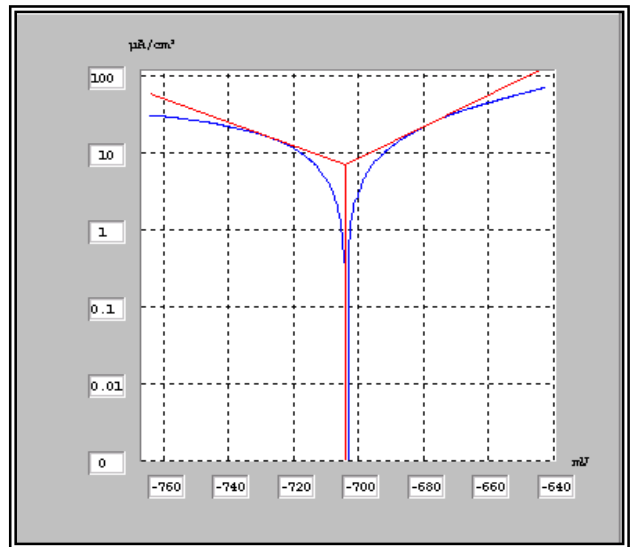
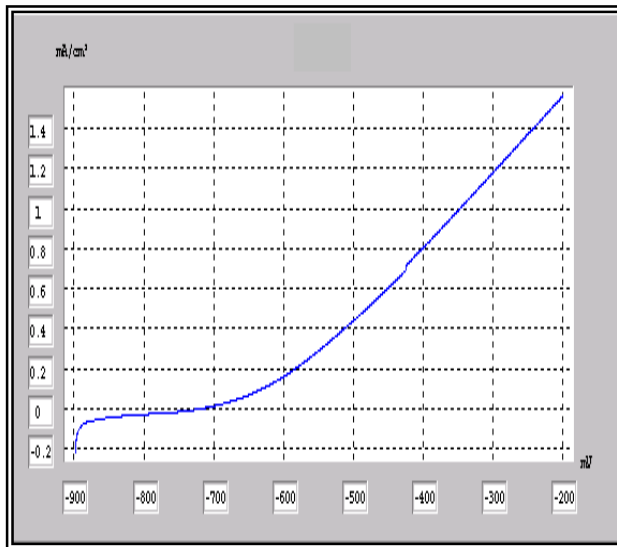
a) Acier brut de livraison

$E(i=0)$: -700.6 mV
 R_p : 1.54 kohm.cm²
 $i_{corr.}$: 10.5338 $\mu\text{A}/\text{cm}^2$
 B_a : 73.6 mV
 B_c : -126.0 mV
 $Coef.$: 1.00000000
 $Corr.$: 0.123 mm/an



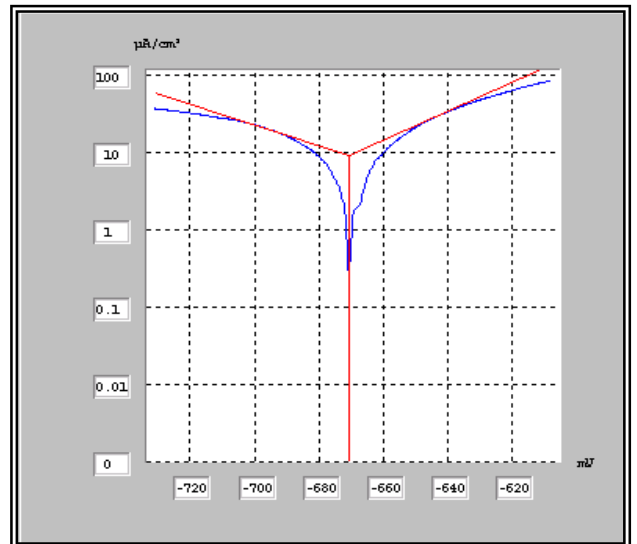
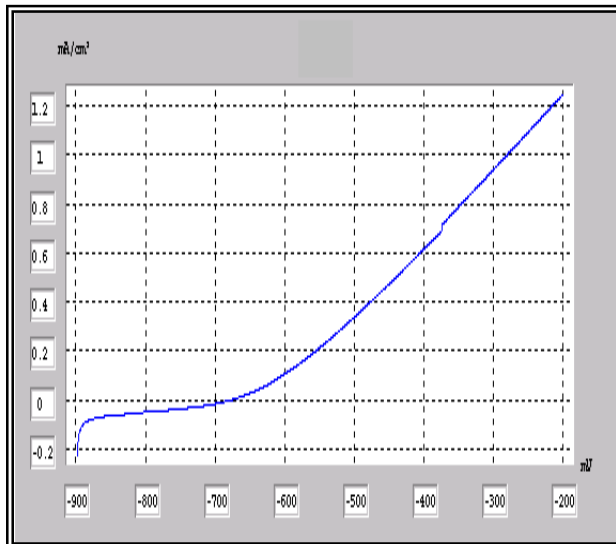
b) $T_R = 200\text{ }^{\circ}\text{C}$

$E(i=0)$: -704.3 mV
 R_p : 1.55 kohm.cm²
 $i_{corr.}$: 9.7265 $\mu\text{A}/\text{cm}^2$
 B_a : 71.4 mV
 B_c : -118.1 mV
 $Coef.$: 1.00000000
 $Corr.$: 0.114 mm/an



c) $T_R = 250\text{ }^{\circ}\text{C}$

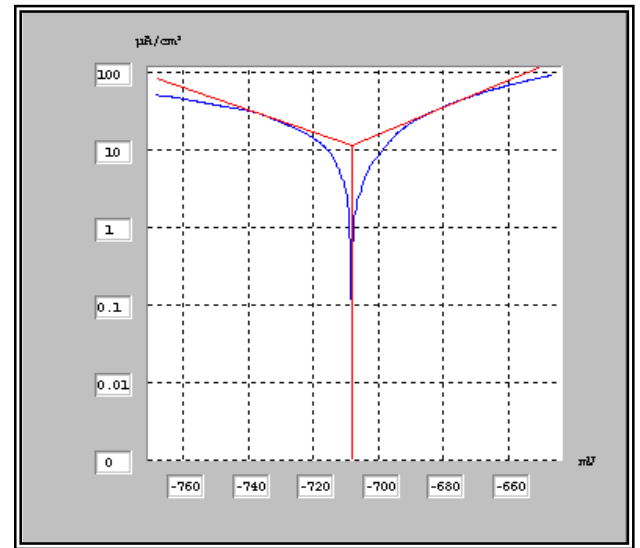
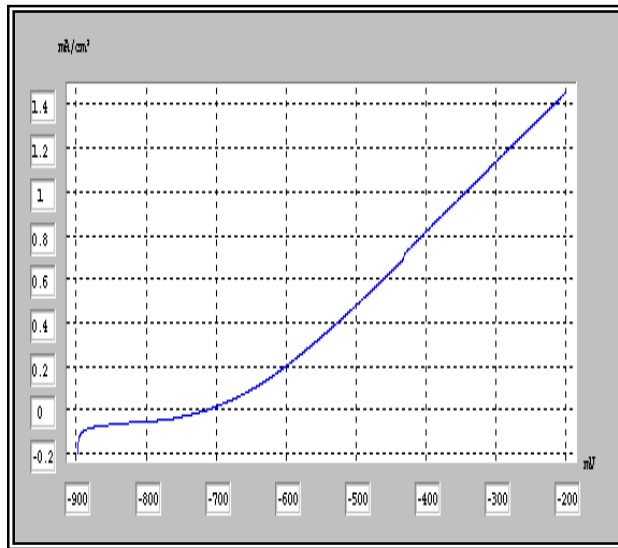
$E(i=0)$: -703.9 mV
 R_p : 1.27 kohm.cm²
 i_{corr} : 7.0680 μA/cm²
 B_a : 48.4 mV
 B_c : -65.2 mV
 $Coef.$: 1.00000000
 $Corr.$: 0.083 mm/an



d) $T_R = 300\text{ }^{\circ}\text{C}$

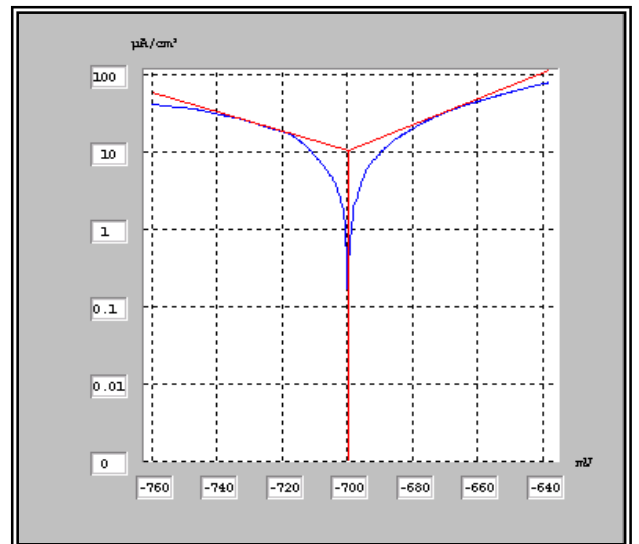
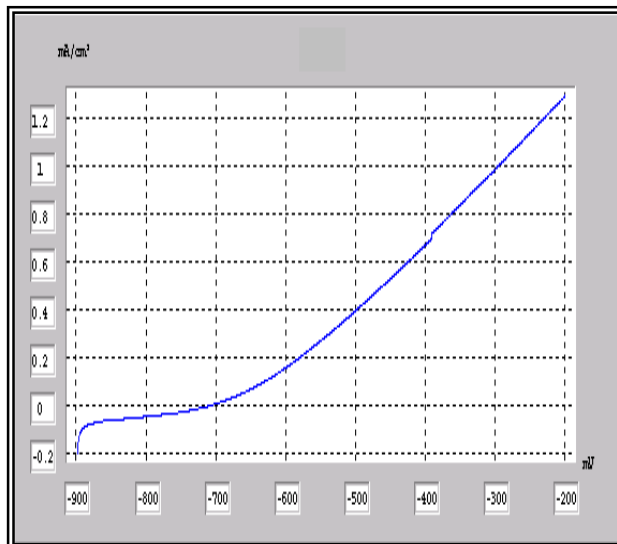
$E(i=0)$: -670.6 mV
 R_p : 820.06 ohm.cm²
 i_{corr} : 9.4926 μA/cm²
 B_a : 54.3 mV
 B_c : -75.0 mV
 $Coef.$: 1.00000000
 $Corr.$: 0.111 mm/an

4. Gradient de température $\Delta T = 9\text{ }^{\circ}\text{C}$:



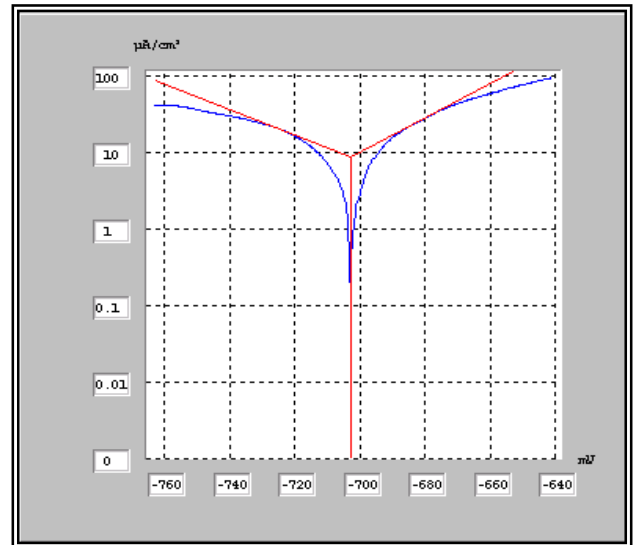
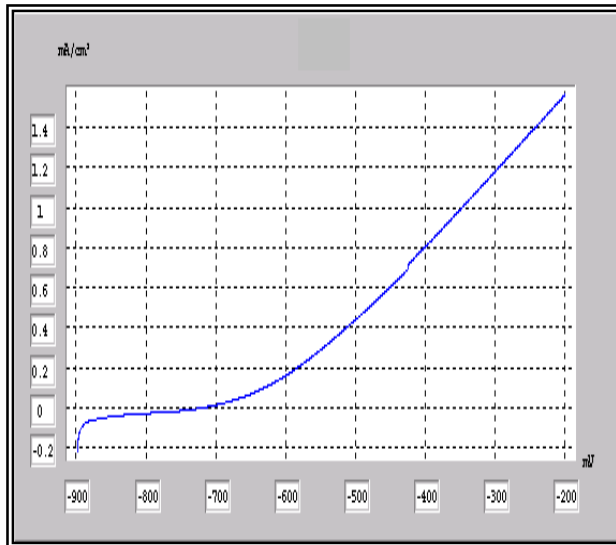
a) Acier brut de livraison

$E(i=0)$: -708.1 mV
 R_p : 827.74 ohm.cm²
 i_{corr} : 11.7364 $\mu\text{A}/\text{cm}^2$
 B_a : 57.3 mV
 B_c : -68.6 mV
 $Coef.$: 1.00000000
 $Corr.$: 0.137 mm/an



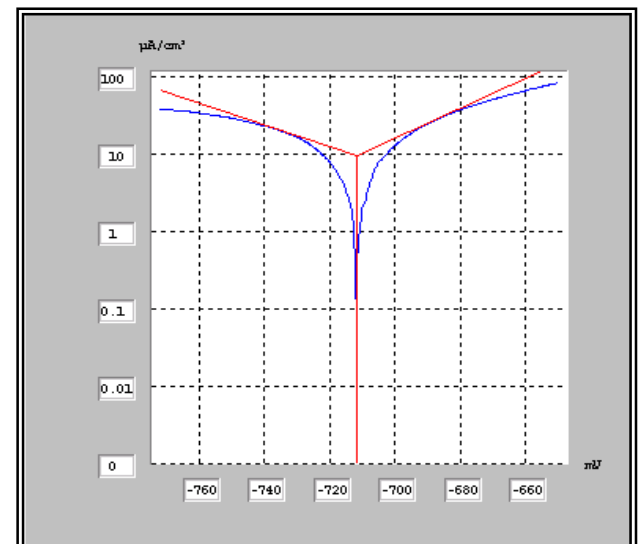
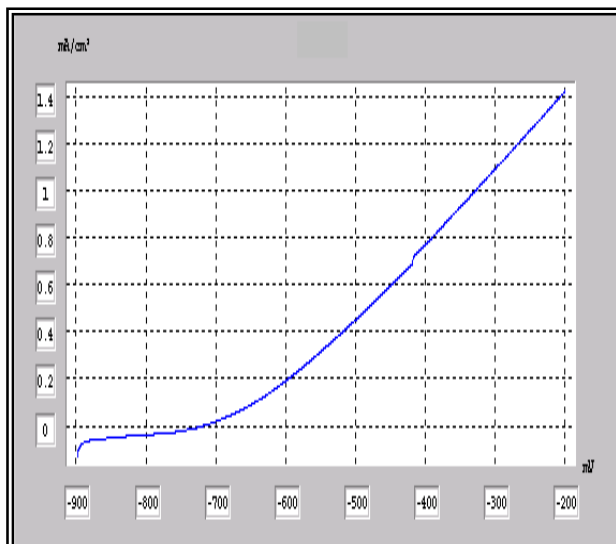
b) $T_R = 200\text{ }^{\circ}\text{C}$

$E(i=0)$: -699.8 mV
 R_p : 912.82 ohm.cm²
 i_{corr} : 10.4852 $\mu\text{A}/\text{cm}^2$
 B_a : 59.4 mV
 B_c : -79.1 mV
 $Coef.$: 1.00000000
 $Corr.$: 0.123 mm/an



c) à $T_R = 250\text{ °C}$

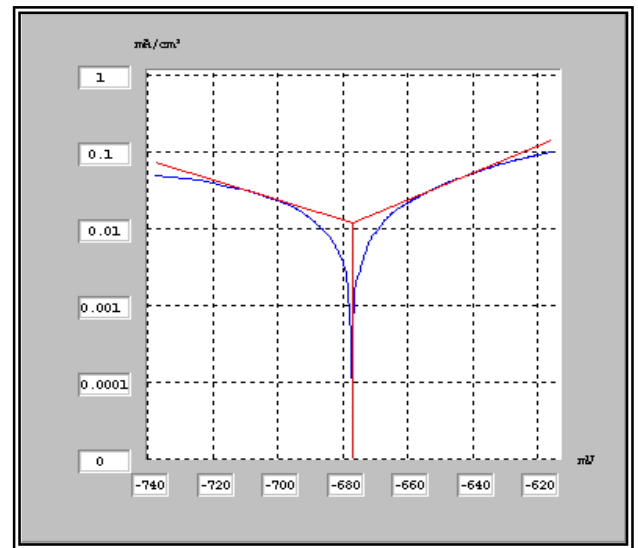
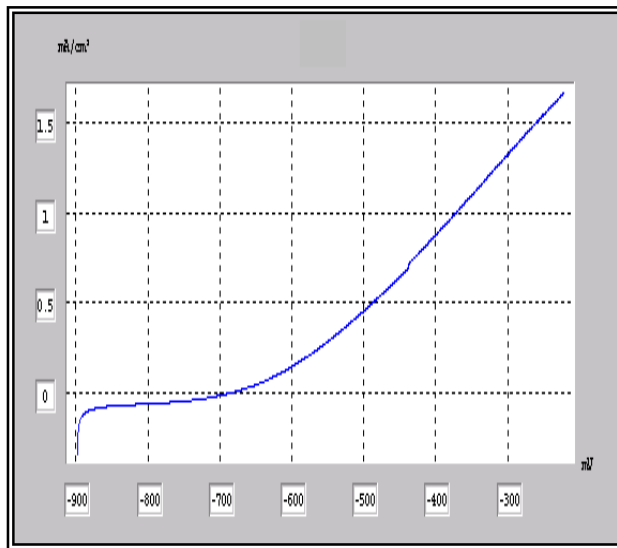
E(i=0) : -702.7 mV
Rp : 892.94 ohm.cm²
i corr. : 8.8775 μA/cm²
Ba : 44.6 mV
Bc : -60.7 mV
Coef. : 1.00000000
Corr. : 0.104 mm/an



d) $T_R = 300\text{ °C}$

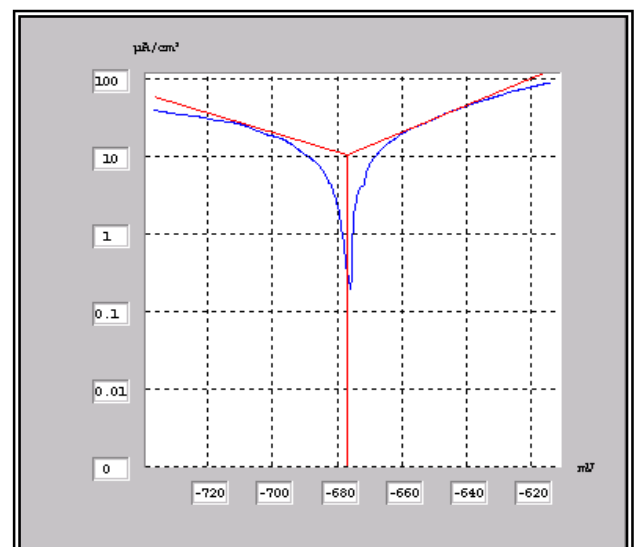
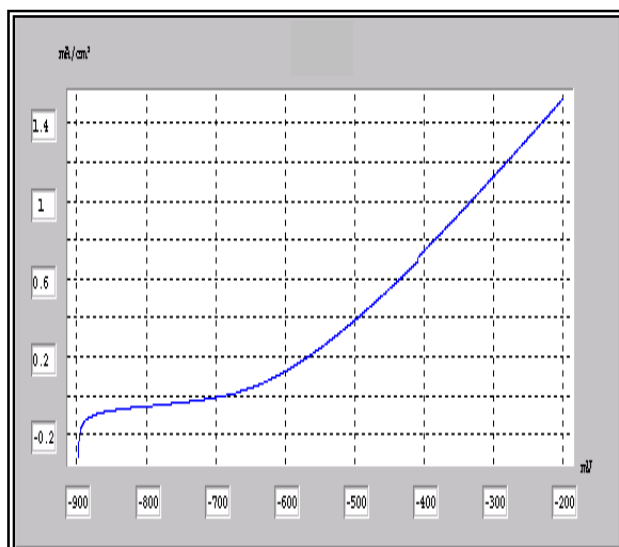
E(i=0) : -711.8 mV
Rp : 869.31 ohm.cm²
i corr. : 9.7672 μA/cm²
Ba : 52.4 mV
Bc : -72.1 mV
Coef. : 1.00000000
Corr. : 0.114 mm/an

5. Gradient de température $\Delta T=12\text{ }^{\circ}\text{C}$:



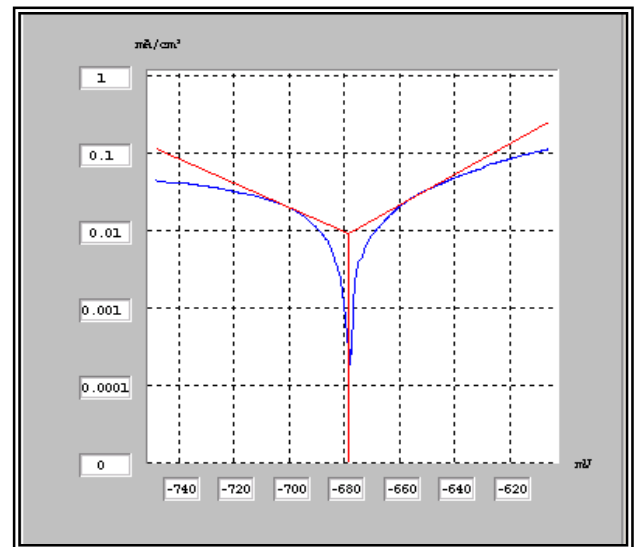
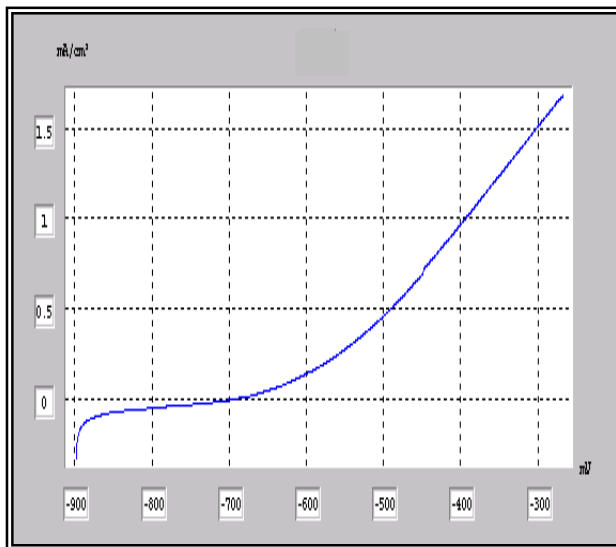
a) Acier brut de livraison

$E(i=0)$: -677.2 mV
 R_p : 858.53 ohm.cm²
 $i_{corr.}$: 0.0124 mA/cm²
 B_a : 57.7 mV
 B_c : -75.4 mV
 $Coef.$: 1.00000000
 $Corr.$: 0.145 mm/an



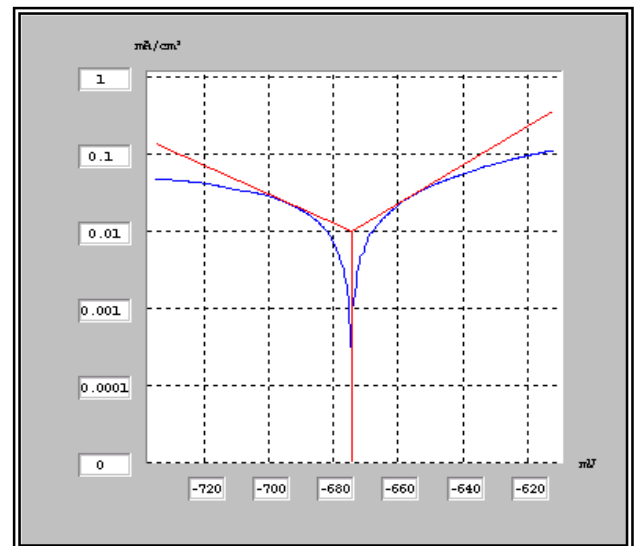
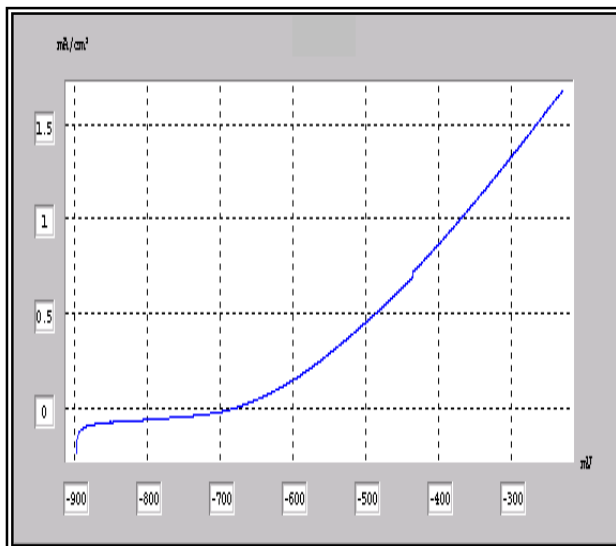
b) $T_R=200\text{ }^{\circ}\text{C}$

$E(i=0)$: -676.8 mV
 R_p : 1.72 kohm.cm²
 $i_{corr.}$: 10.7739 $\mu\text{A/cm}^2$
 B_a : 58.3 mV
 B_c : -74.6 mV
 $Coef.$: 1.00000000
 $Corr.$: 0.126 mm/an



c) $T_R = 250\text{ }^{\circ}\text{C}$

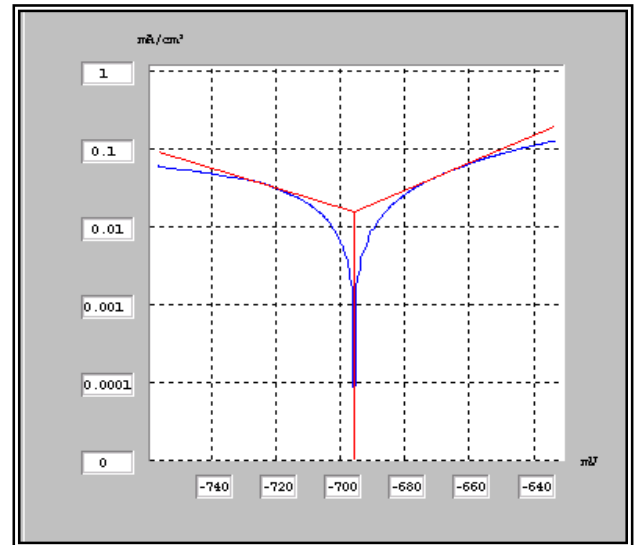
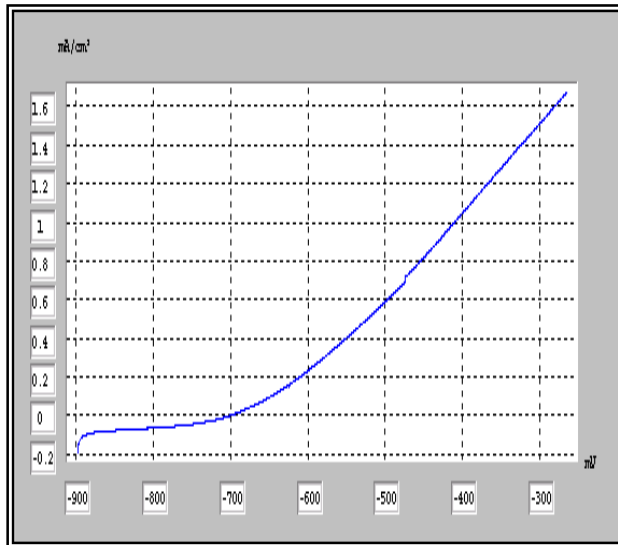
$E(i=0)$: -678.6 mV
 R_p : 1.64 kohm.cm²
 i_{corr} : 0.0094 mA/cm²
 B_a : 50.3 mV
 B_c : -64.6 mV
 $Coef.$: 1.00000000
 $Corr.$: 0.110 mm/an



d) $T_R = 300\text{ }^{\circ}\text{C}$

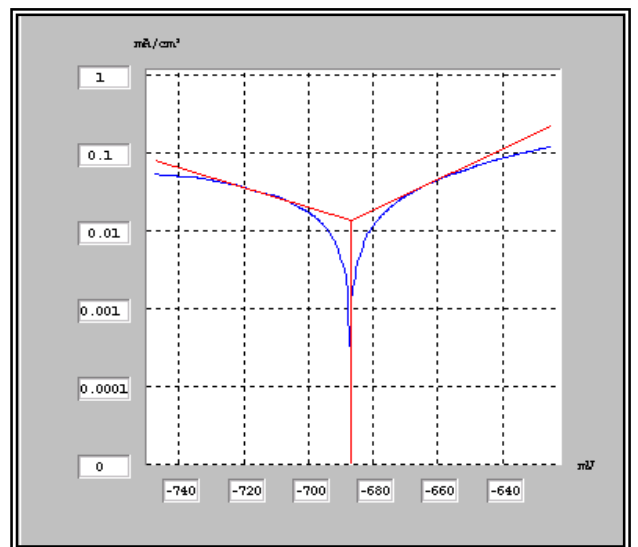
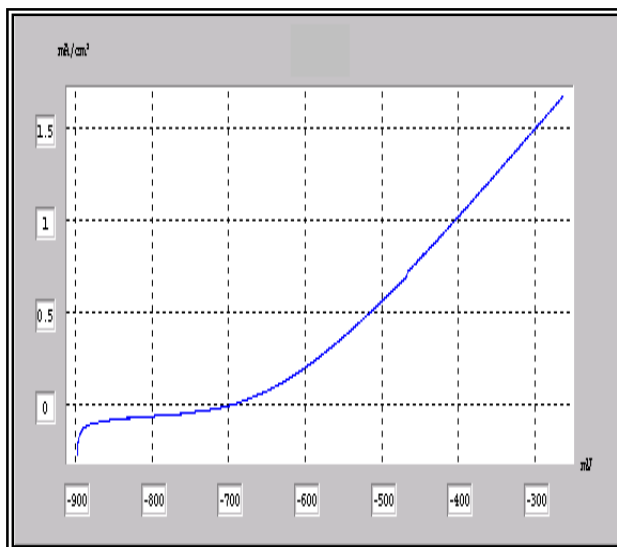
$E(i=0)$: -674.4 mV
 R_p : 699.40 ohm.cm²
 i_{corr} : 0.0100 mA/cm²
 B_a : 39.8 mV
 B_c : -52.6 mV
 $Coef.$: 1.00000000
 $Corr.$: 0.117 mm/an

6. Gradient de température $\Delta T=16\text{ }^{\circ}\text{C}$:



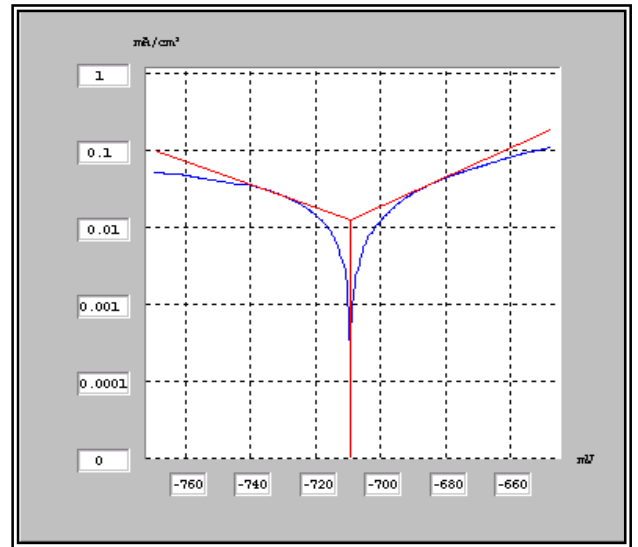
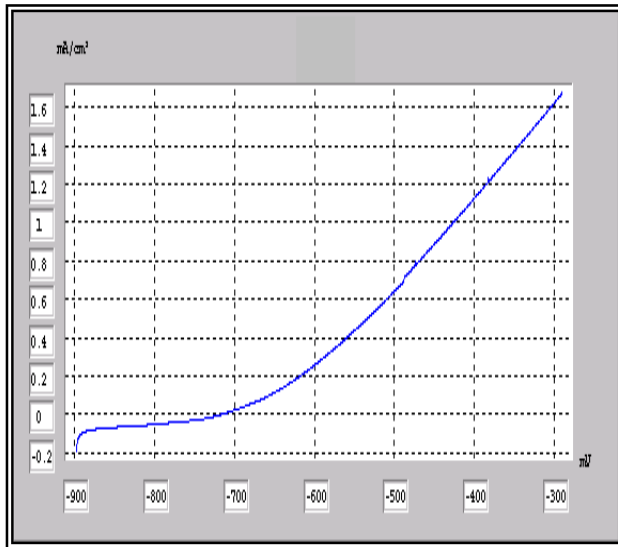
a) Acier brut de livraison

$E(i=0)$: -695.6 mV
 R_p : 650.99 ohm.cm²
 i_{corr} : 0.0162 mA/cm²
 B_a : 57.5 mV
 B_c : -79.6 mV
 $Coef.$: 1.00000000
 $Corr.$: 0.189 mm/an



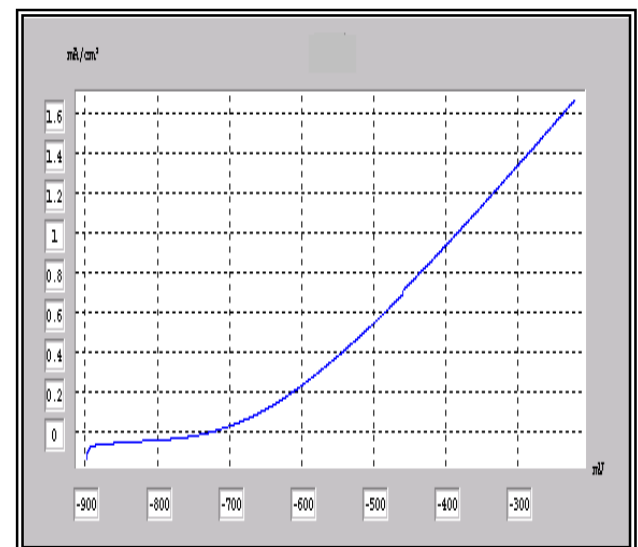
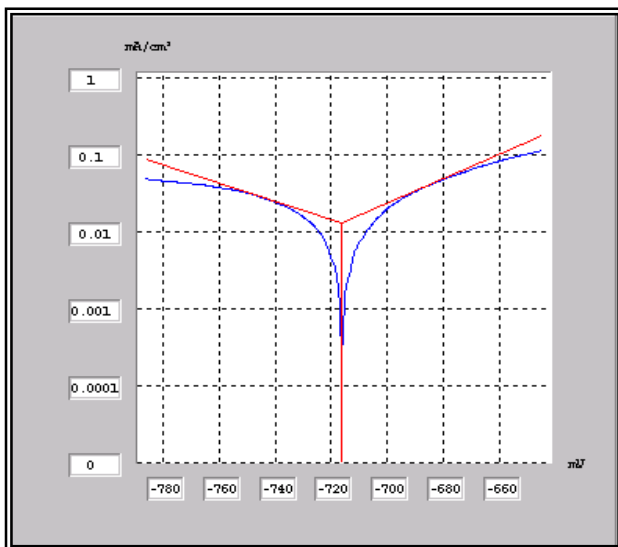
b) $T_R=200\text{ }^{\circ}\text{C}$

$E(i=0)$: -687.0 mV
 R_p : 630.26 ohm.cm²
 i_{corr} : 0.0138 mA/cm²
 B_a : 51.5 mV
 B_c : -78.3 mV
 $Coef.$: 1.00000000
 $Corr.$: 0.161 mm/an



c) $T_R = 250\text{ }^{\circ}\text{C}$

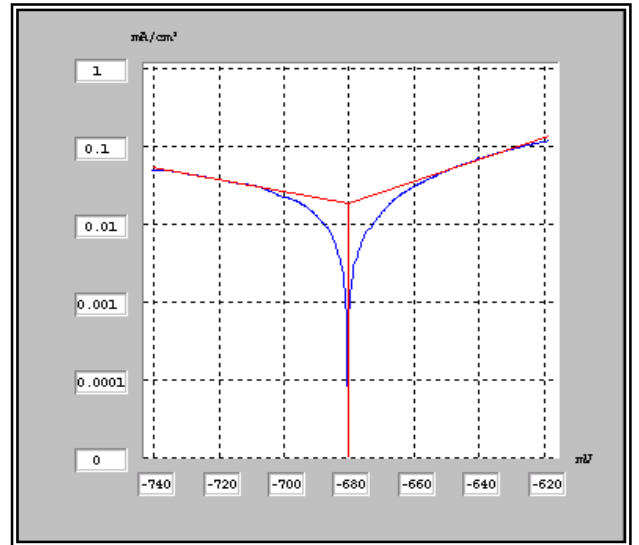
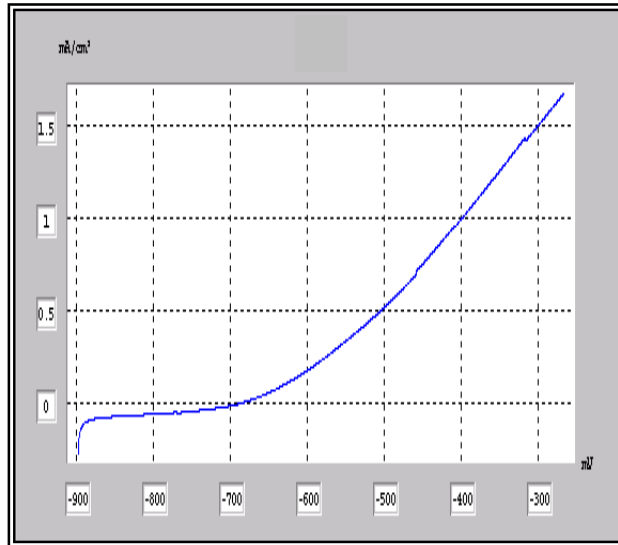
$E(i=0)$: -709.3 mV
 R_p : 764.17 ohm.cm²
 i_{corr} : 0.0129 mA/cm²
 B_a : 53.3 mV
 B_c : -66.6 mV
 $Coef.$: 1.00000000
 $Corr.$: 0.151 mm/an



d) $T_R = 300\text{ }^{\circ}\text{C}$

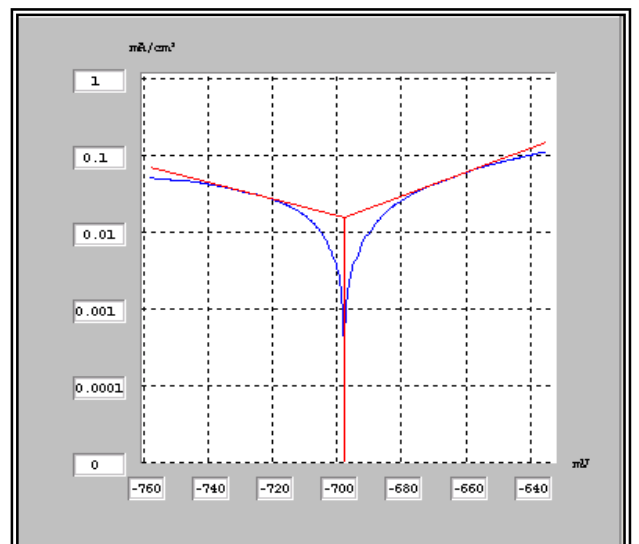
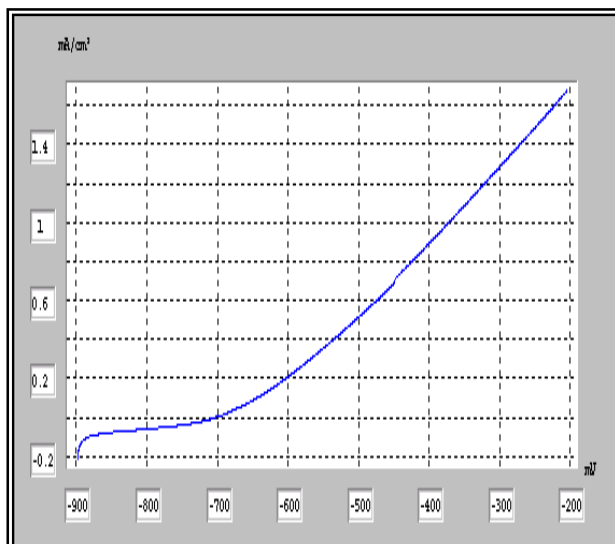
$E(i=0)$: -716.2 mV
 R_p : 656.91 ohm.cm²
 i_{corr} : 0.0132 mA/cm²
 B_a : 62.6 mV
 B_c : -85.1 mV
 $Coef.$: 1.00000000
 $Corr.$: 0.154 mm/an

7. Gradient de température $\Delta T=20\text{ }^{\circ}\text{C}$:



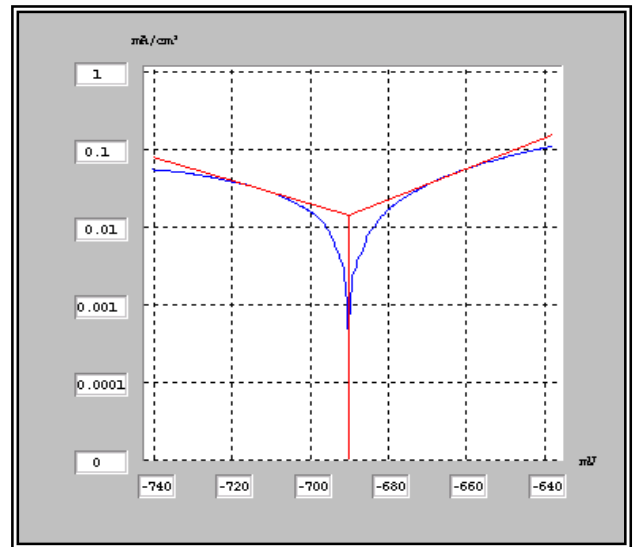
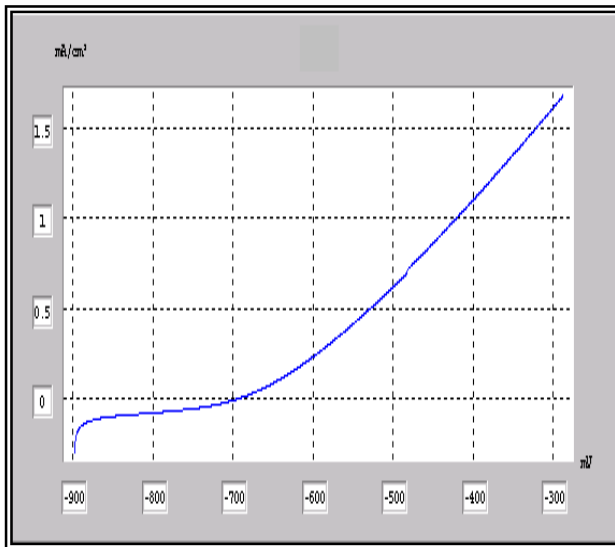
a) Acier brut de livraison

$E(i=0)$: -680.4 mV
 R_p : 732.05 ohm.cm²
 $i_{corr.}$: 0.0188 mA/cm²
 B_a : 71.4 mV
 B_c : -130.8 mV
 $Coef.$: 0.99425232
 $Corr.$: 0.220 mm/an



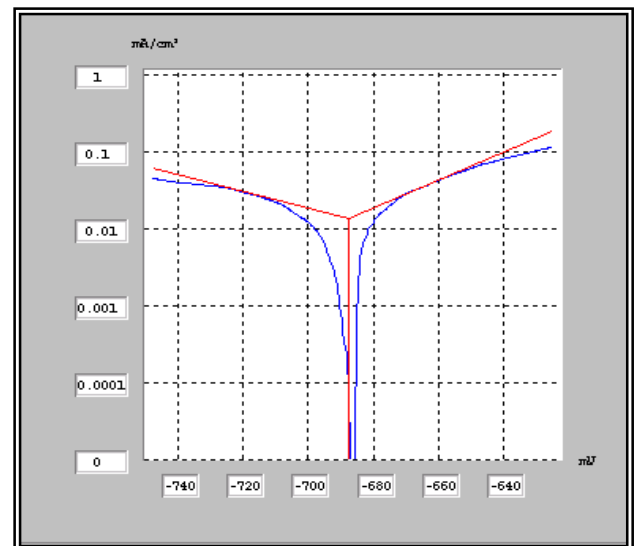
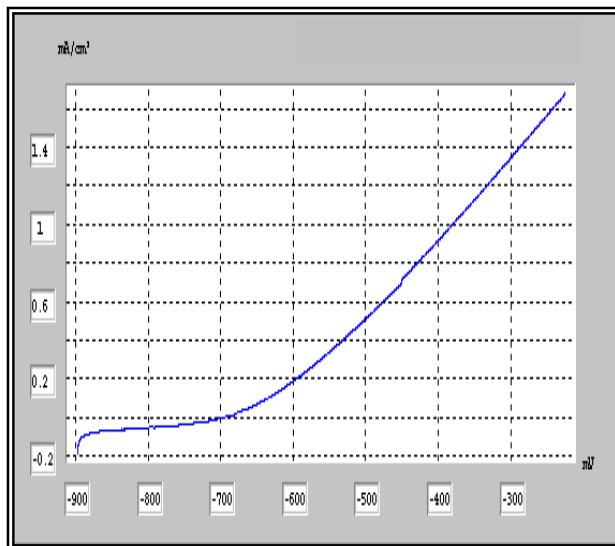
b) $T_R = 200\text{ }^{\circ}\text{C}$

$E(i=0)$: -697.6 mV
 R_p : 781.51 ohm.cm²
 $i_{corr.}$: 0.0156 mA/cm²
 B_a : 62.9 mV
 B_c : -91.6 mV
 $Coef.$: 1.00000000
 $Corr.$: 0.183 mm/an



c) $T_R = 250\text{ °C}$

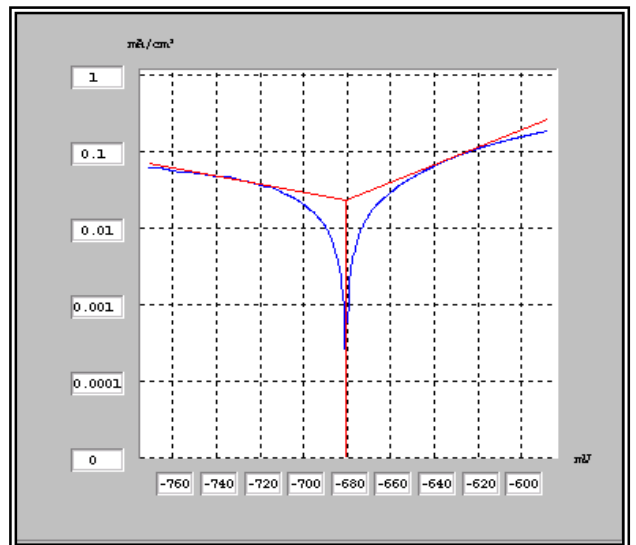
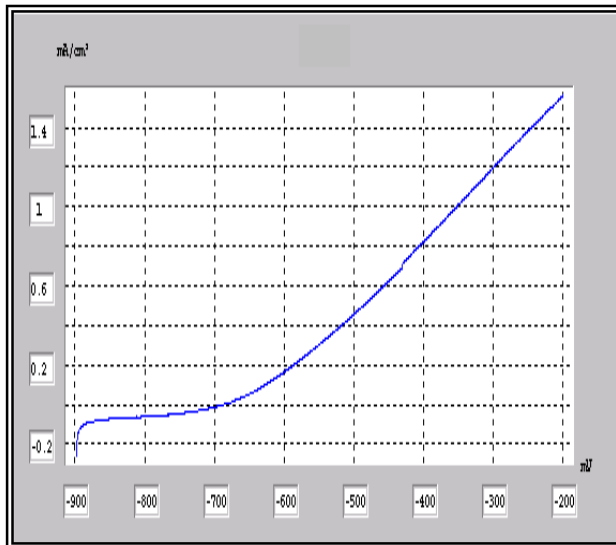
$E(i=0)$: -690.0 mV
 R_p : 623.53 ohm.cm^2
 $i_{\text{corr.}}$: 0.0148 mA/cm^2
 B_a : 50.3 mV
 B_c : -67.8 mV
 Coef. : 1.00000000
 Corr. : 0.173 mm/an



d) $T_R = 300\text{ °C}$

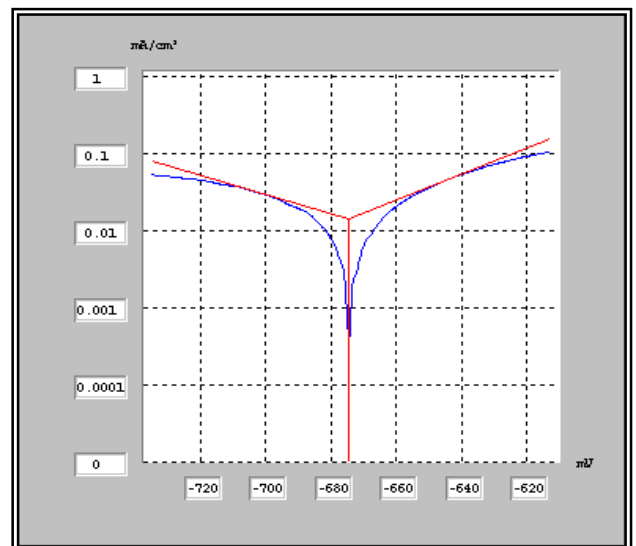
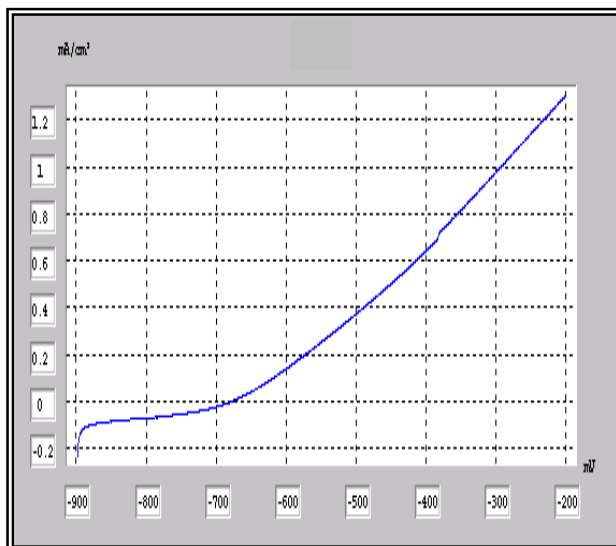
$E(i=0)$: -687.8 mV
 R_p : 10.32 kohm.cm^2
 $i_{\text{corr.}}$: 0.0140 mA/cm^2
 B_a : 56.0 mV
 B_c : -91.4 mV
 Coef. : 1.00000000
 Corr. : 0.164 mm/an

8. Gradient de température $\Delta T = 24^\circ\text{C}$:



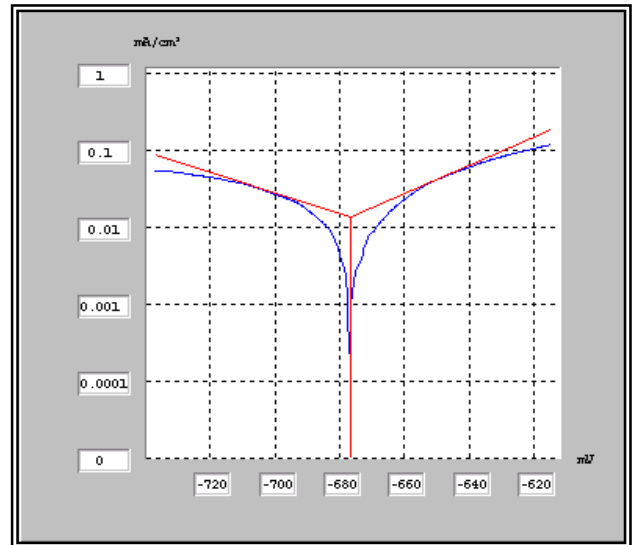
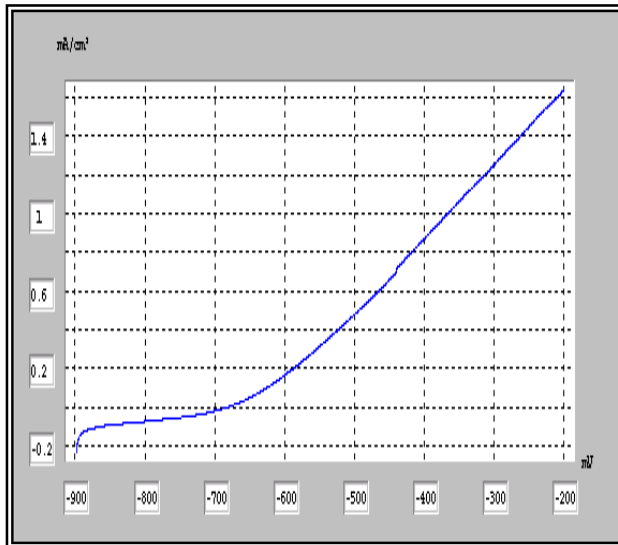
a) Acier brut de livraison

$E(i=0)$: -680.8 mV
 R_p : 932.26 ohm.cm²
 i_{corr} : 0.0233 mA/cm²
 B_a : 87.5 mV
 B_c : -187.7 mV
 $Coef.$: 1.00000000
 $Corr.$: 0.273 mm/an



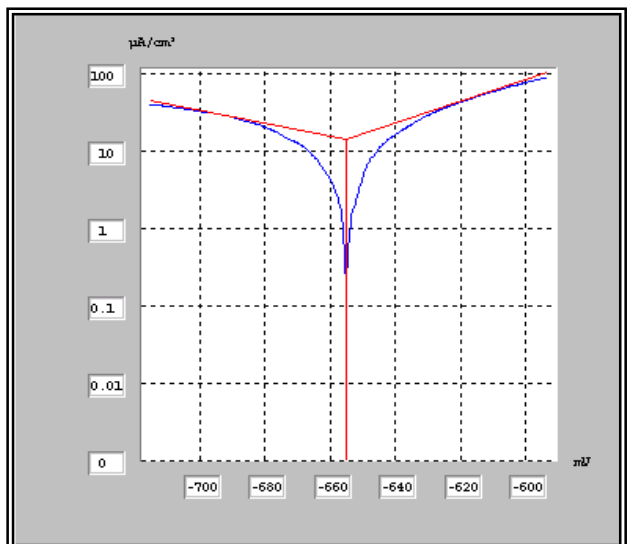
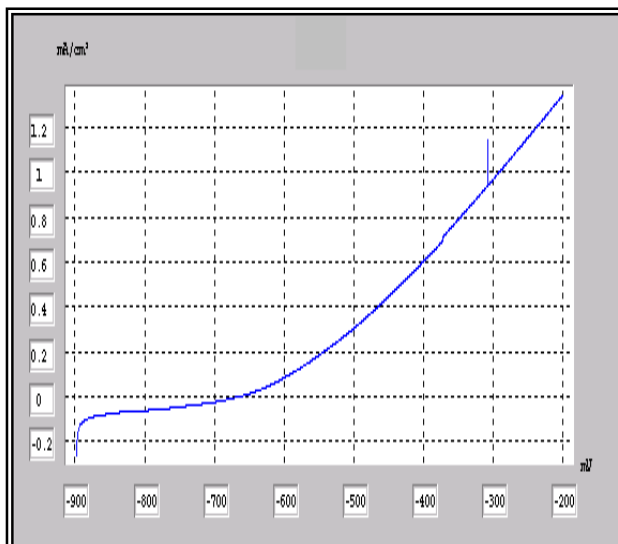
b) $T_R = 200^\circ\text{C}$

$E(i=0)$: -674.5 mV
 R_p : 588.69 ohm.cm²
 i_{corr} : 0.0145 mA/cm²
 B_a : 59.1 mV
 B_c : -81.3 mV
 $Coef.$: 1.00000000
 $Corr.$: 0.169 mm/an



c) $T_R = 250\text{ }^{\circ}\text{C}$

$E(i=0)$: -676.8 mV
 R_p : 773.94 ohm.cm²
 i_{corr} : 0.0138 mA/cm²
 B_a : 55.1 mV
 B_c : -74.3 mV
 $Coef.$: 1.00000000
 $Corr.$: 0.161 mm/an



d) $T_R = 300\text{ }^{\circ}\text{C}$

$E(i=0)$: -654.9 mV
 R_p : 1.16 kohm.cm²
 i_{corr} : 14.2561 $\mu\text{A/cm}^2$
 B_a : 71.4 mV
 B_c : -119.6 mV
 $Coef.$: 1.00000000
 $Corr.$: 0.167 mm/an

REFERENCES BIBLIOGRAPHIE

- [1] Naoui.H, corrosivité de l'Albien, CRD Boumerdes (2000)
- [2] A. Mamanou, magister de physique, université de Ouargla (2003)
- [3] L. Mecheri, magister, université de Ouargla (2003)
- [4] N. Arbaoui, magister de chimie, université de Ouargla (2004)
- [5] Agressivité de l'eau l'Albien vis à vis des tubes concentriques, Rapport N° I / 133 HMD, (2000)
- [6] Producing –logging tools and interpretation (schlumberger producing log interpretation)
- [7] M Colombie et Coll, Matériaux métalliques, Dunod, 2000, Paris
- [8] Hori (S), Suzuki (M) et Unigawa (Y) .Effect of carbon n the low température brittleness of iron.
J. Japan Inst.Metale, n°2, p138-41 (1980)
- [9] Spitzig (W.A) et Sober (R.J) –Effect of Phosphorous on the mechanical properities of
normalized 0.1% C-1% Mn steels. Met Trans. (USA), 8A, p.651-5, avril 1977.
- [10] Blondeau (R) –Les aciers faiblement alliés soudables .Influence des éléments d'addition
.Soudage et Techniques Connexes (F),p. 21-31,janv.-fev.1980
- [11] Jean Barralis, Gérard Maeder, Métallurgie, Edition NATHAN, 1997, Paris
- [12] j. Bernard, A .Mechel , J . Philibert, J. Talbot, (1969). Métallurgie général, masson et C ^{IE},
Edition, paris.
- [13] D. Landolt , (1997) , Corrosion et chimique de surface des matériaux , Edition Presse
polytechniques et universitaire Romandes
- [14] Joseph, F.Bosich, Prévention de la corrosion, Edition ,1972
- [15] A. Bellaouchou, A Guenbour et A.Ben Bachir.
Brevet d'Invention N°24977, OMPI Casa – Maroc (1998)
- [16] Alain Guinier, métallographie et techniques d'analyse, p.143 (1998)
- [17] Traitement des eaux dans l'industrie pétrolière, technip, p.36 (1972)
- [18] Procédures, Référence. PCR. 001 – Version V-01
- [19] Nace, Standard RP 0 175 – 99, item N° 21017 (1999)

LISTE DES FIGURES

CHAPITRE I

Etude bibliographique et théorique

- Figure I.1 :** Schéma d'un puits producteur d'eau
- Figure I.2 :** Schéma synoptique d'un puits producteur d'eau
- Figure I.3 :** Evolution de la vitesse de corrosion en fonction de la température de revenu de l'acier API 5CT N 80
- Figure I.4 :** Gradient de la température le long d'un puits producteur d'eau
- Figure I- 5 :** Profil de température d'un puits injecteur d'eau
- Figure I-6 :** Profil de température d'un puits producteur d'eau
- Figure II-7 :** Diagramme de phases Fe-C .
- Figure I-8 :** Densité de courants anodique et cathodique d'une réaction d'électrode

CHAPITRE II

Méthodes et Techniques Expérimentales

- Figure II .1 :** Dispositif d'essai sous transfert de chaleur
- Figure II .2 :** Photo qui montre l'électrode de travail

CHAPITRE III

Résultats et discussions

- Figure III.1 :** Photos montrant l'aspect de la corrosion des concentriques retirés du puits GLAHA2 à quelque producteurs a) Tube neuf , b) l'aspect des dépôts et des perforations c) à 200 m , d) à 600 m , e) à 800 m , f) à 1071m
- Figure III .2 :** Aspect micrographique de l'acier API 5CT N80 brut de livraison attaqué au Nital à 4% montrant une structure de type martensitique
a) X100, b) X500
- Figure III .3 :** Spectre de diffraction X obtenu à partir d'un acier API N 80 brut de livraison.

Figure III .4 : Evolution de la vitesse de corrosion en fonction de ΔT Acier brut

Figure III .5 : Evolution de la vitesse de corrosion en fonction de ΔT

a) $T_R=200\text{ }^{\circ}\text{C}$, b) $T_R=250\text{ }^{\circ}\text{C}$ et c) $T_R=300\text{ }^{\circ}\text{C}$

Figure III .6 : Evolution de la vitesse de corrosion en fonction de température de revenu T_R pour différents gradients ΔT a) $\Delta T=0^{\circ}\text{C}$, b) $\Delta T=3\text{ }^{\circ}\text{C}$, c) $\Delta T=6^{\circ}\text{C}$, d) $\Delta T=9^{\circ}\text{C}$, e) $\Delta T=12\text{ }^{\circ}\text{C}$, f) $\Delta T=16\text{ }^{\circ}\text{C}$, g) $\Delta T=20\text{ }^{\circ}\text{C}$ et h) $\Delta T=24\text{ }^{\circ}\text{C}$
Action cumulée du gradient de température et de traitement thermique de

Figure III .7 : revenu sur la vitesse (V_{corr})

a) Cas de l'eau non traitée b) Cas de l'eau traitée

Action cumulée du traitement thermique de revenu et du gradient de

Figure III .8 : température sur la vitesse (V_{corr})

a) Cas de l'eau non traitée b) Cas de l'eau traitée

LISTE DES TABLEAUX

CHAPITRE I

Etude bibliographique et théorique

Tableau I .1 : Valeurs des vitesses de corrosion en fonction de la température de revenu

Tableau I .2 : Les Valeurs de température aux différentes profondeurs

Tableau I .3 : Gradient de la température le long du puits GLAHA2

CHAPITRE II

Méthodes et Techniques Expérimentales

Tableau II .1 : Composition chimique de l'acier API 5CT N80

CHAPITRE III

Résultats et discussions

Tableau III.1 : champ de Haoud Berkoui

Tableau III .2 : champ de Benkhla

Tableau III .3 : champ de Guellala

Tableau III .4 : Analyse chimique de l'eau Albien du puits GLAHA2

Tableau III .5 : Résultat de l'essai au marbre de l'eau du puits GLAHA2

Tableau III .6 : Valeurs des vitesses de corrosion en fonction de ΔT pour l'acier brut de livraison)

Tableau III .7 : Valeurs des vitesses de corrosion en fonction de ΔT . Pour différentes températures de revenu

LISTE DES ABREVIATIONS

∞	Coefficient de transfert de charges
β_a, β_c	Coefficient de Tafel anodique et cathodique en V^{-1}
E	Potentiel d'électrode / solution d'une réaction électrochimique, en V
E_{corr}	Potentiel de corrosion en volts
F	Nombre de Faraday = 96500 C
η	Surtension = $E - E_{\text{corr}}$, en V
i	Densité de courant de transfert électronique.
i_0	Densité de courant d'échange, en $A.m^{-2}$
i_a	Densité de courant anodique, en $A.m^{-2}$
i_c	Coefficient de courant cathodique, en $A.m^{-2}$
i_{corr}	Densité de courant de corrosion, en $A.m^{-2}$
K	La constante d'équilibre
K'_a, K'_c	Constants
R_p	Résistance de polarisation
R	Constante de gaz parfaits = $8.31 \text{ J.mol}^{-1}.K^{-1}$
v_{corr}	Vitesse de corrosion
v	Vitesse de corrosion en présence de l'inhibiteur
T	Température, en K
N	Nombre de charge
$\Delta G^*_a, \Delta G^*_c$	Les enthalpies libres d'activation des réactions partielles anodique et cathodique