

République Algérienne Démocratique et Populaire  
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique



**Ecole Nationale Polytechnique**  
D.E.R. de Génie Electrique et Informatique

# THESE

Présentée par

**M<sup>r</sup> MECHERI Yacine**

Ingénieur d'état en Electrotechnique de L' E.N.P.

pour l'obtention du grade de

**MAGISTER EN ELECTROTECHNIQUE**

Option : Réseaux Electriques et Haute Tension

THEME

**INFLUENCE DU VIEILLISSEMENT THERMIQUE  
CONTINU SUR LES PROPRIETES DIELECTRIQUES  
ET MECANIKES DU POLYETHYLENE RETICULE  
CHIMIQUEMENT UTILISE DANS L'ISOLATION DES  
CABLES MOYENNE TENSION**

Soutenue le 26 Octobre 1998 devant la commission d'examen composée de:

<b>A. Hellal</b>	Maitre de Conférences à l'ENP	Président
<b>A. Boubakeur</b>	Maitre de Conférences à l'ENP	Rapporteur
<b>M. Saidi</b>	Maitre de Conférences à l'USTHB	Examinateur
<b>N. Belhanèche</b>	Maitre de Conférences à l'ENP	Examinatrice
<b>M. Tegar</b>	Chargé de Cours à l'ENP	Examinateur
<b>A. Rahmoun</b>	Chef de Département Contrôle Qualité (EN.I.C.A.B)	Invité

## ملخص:

تناول هذه الأطروحة دراسة حول تأثير التزيم الحراري على الخصائص الكهربائية والميكانيكية لمادة الـ (P.R.C) البوليثلان المعرق كيميائيا، المستعملة كعازل للكوابل الكهربائية ذات التوتر المتوسط (18/30kV) و المصنوعة بمؤسسة صناعات الكوابل لبسكرة (EN.I.CA.B). خلال هذه الدراسة استعملنا تقنية التزيم الحراري المستمر بحيث تم إخضاع أربع عينات من كابل خلال 2000 ساعة تحت تأثير درجات الحرارة الأربعة التالية: 80°C، 100°C، 120°C و 140°C. النتائج المحصل عليها تجريبيا أظهرت تغير وتناقص الخصائص الكهربائية والميكانيكية لمادة الـ P.R.C خلال مدة التزيم بدلالة درجة الحرارة. هذا التناقص للخصائص الفيزيائية يدل على مدى فقدان مادة الـ P.R.C لخاصية العزل الكهربائي. مكنتنا هذه الدراسة من التحقق من أن مادة الـ P.R.C المنتجة بمؤسسة صناعات الكوابل لبسكرة ذات نوعية جيدة تحت تأثير التزيم الحراري وهذا في حدود درجة حرارة التشغيل (90°C) و أنها تستجيب عموما للمقاييس الدولية سارية المفعول.

**كلمات مفاتيح:** تزيم حراري مستمر، البوليثلان المعرق كيميائيا، خصائص كهربائية، خصائص ميكانيكية.

## Résumé:

Notre étude porte sur le comportement diélectrique et mécanique du Polyéthylène Réticulé Chimiquement (P.R.C) vieilli thermiquement, utilisé dans l'isolation des câbles moyenne tension (18/30kV), fabriqué par l'Entreprise des Industries des Câbles de Biskra (EN.I.CA.B). Nous avons fait vieillir thermiquement et d'une manière continue quatre échantillons de Câbles isolés au PRC pendant 2000 heures aux températures de vieillissement suivantes : 80°C, 100°C, 120°C et 140°C. Au cours du vieillissement thermique, nous avons obtenu une dégradation des propriétés diélectriques et mécaniques du PRC. Cette dégradation est d'autant plus importante que la température de vieillissement est élevée. D'après nos résultats, le PRC fabriqué par L'EN.I.CA.B présente un bon vieillissement thermique aux alentours de la température de service (90°C) répond généralement aux normes en vigueur.

**Mots clés:** Vieillissement thermique continu, Polyéthylène Réticulé Chimiquement (P.R.C), Propriétés diélectriques, Propriétés mécaniques.

## Abstract :

The aim of this work is to study the influence of thermal ageing on the dielectric and mechanical properties of Cross-Linked Polyethylene (XLPE) used as electrical insulation of medium voltage cable (18/30kV) manufactured by cable industry firm of Biskra (EN.I.CA.B). We have made cable continuous accelerated thermal ageing during 2000 hours at the following temperatures : 80°C, 100°C, 120°C and 140°C. The experimental results show that the thermal ageing has a great influence on the electrical and mechanical properties of Cross-Linked Polyethylene. More the ageing temperature is high, more the material losses rapidly its properties. According to our investigations, the XLPE made by EN.I.CA.B presents a good thermal ageing at the temperature 90°C and satisfies to the International Standards Recommendations.

**Key words:** Continuous thermal ageing, Cross-Linked Polyethylene (XLPE), Dielectric properties, Mechanical properties.

## ***TABLE DES MATIERES***

	Page
<b>INTRODUCTION</b> .....	1
<b>CHAPITRE I – SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE</b> .....	4
<b><i>I.1 POLARISATION DES DIELECTRIQUES</i></b> .....	4
I.1.1 Principe de la polarisation.....	7
I.1.2 Différents types de polarisation.....	7
A) Polarisation électronique.....	7
B) Polarisation ionique.....	7
C) Polarisation dipolaire.....	8
D) Polarisation par charges d'espace.....	9
I.1.3 Conduction des isolants polymères.....	9
I.1.4 Influence de la température sur les propriétés diélectriques des polymères.....	10
<b><i>I.2 POLYETHYLENE RETICULE CHIMIQUEMENT</i></b> .....	12
I.2.1 Structure et morphologie du polyéthylène.....	12
I.2.2 Polyéthylène basse densité PEbd.....	12
I.2.3 Principe de la réticulation du PEbd.....	12
I.2.4 Procédés de fabrication des câbles isolés au PRC.....	14
1. Réticulation à la vapeur d'eau.....	15
2. Réticulation en gaz inerte chauffé.....	15
3. Réticulation par radiation.....	15
4. Réticulation aux ultrasons.....	16
5. Procédé de réticulation SIOPLAS.....	16
I.2.5 Avantages du PRC sur le PE.....	17

1.3 <i>VIELLISSEMENT THERMIQUE DES POLYMERES</i> .....	18
Généralités.....	18
1.3.1 Vieillissement physique.....	18
1.3.1.1 Vieillissement physique avec transfert de masse.....	18
A) Pénétration de solvants.....	19
B) Perte d'adjuvants.....	19
1.3.1.2 Vieillissement physique sans transfert de masse.....	19
A) Fissuration sous contrainte en milieu tensioactif.....	19
B) Vieillissement physique interne.....	20
C) Chocs thermiques.....	20
1.3.2 Vieillissement chimique.....	20
A) Coupure de chaînes statistiques.....	21
B) Dépolymérisation.....	21
C) Réticulation.....	21
D) Oxydation.....	22
1.3.3 Endurance thermique et durée de vie des polymères.....	22
1.3.3.1 Position du problème.....	22
1.3.3.2 Durée de vie.....	23
<b>CHAPITRE II – TECHNIQUES EXPERIMENTALES</b> .....	25
II.1 Présentation du câble.....	25
II.1.1 Constituants du câble.....	26
II.1.2 Propriétés du compound.....	26
II.2 Dispositifs expérimentaux.....	26
II.2.1 Description du circuit de chauffage.....	27
II.2.2 Mesure de la tension seuil d'apparition des D.P.....	28
II.2.3 Mesure du facteur de pertes et de la permittivité relative.....	30
II.2.3 Mesure de l'allongement à la rupture et de la résistance à la traction.....	32
<b>CHAPITRE III – RESULTATS ET DISCUSSION</b> .....	33
III.1 Influence du vieillissement thermique sur les propriétés diélectriques du PRC.....	33
III.1.1 Indice de pertes diélectriques en fonction du temps de vieillissement.....	33
III.1.2 Variation du facteur de pertes diélectriques en fonction de la tension.....	39
III.1.3 Variation du facteur de pertes diélectriques en fonction de la température.....	42
III.1.4 Permittivité relative en fonction du temps de vieillissement.....	43
III.1.5 Variation de la constante diélectrique en fonction de la température.....	49
III.1.6 Influence du vieillissement thermique sur la tension seuil d'apparition des décharges partielles.....	50
III.2 Influence du vieillissement thermique sur les propriétés mécaniques du PRC.....	51
<b>CONCLUSION GENERALE</b> .....	52
<b>REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES</b> .....	55
<b>ANNEXE</b>	