

*Sous réserve de l'avis des Rapporteurs*

**Sarah HETTAL**

Soutiendra publiquement ses travaux de thèse intitulés :

***Modélisation cinétique du vieillissement radio-thermique du polyéthylène réticulé silane chargé d'ATH destiné à l'isolation de câbles électriques dans les centrales nucléaires.***

***Kinetic modelling of radio-thermal ageing of ATH-filled silane cross-linked polyethylene aimed to electrical cable insulation in nuclear power plants.***

THÈSE dirigée par : **Xavier COLIN** et co-encadrée par : **Sébastien ROLAND**

Soutenance prévue **24 juin 2022 à 14h**  
ENSAM Paris 151 boulevard de l'hôpital, 75013, Paris  
salle **Amphi Pinel**

## **Résumé**

Le polyéthylène linéaire basse densité réticulé (XLPE) est très utilisé dans l'isolation des câbles électriques dans les centrales nucléaires. Les câbles électriques sont exposés à des irradiations ionisantes et à des températures relativement élevées qui conduisent à la dégradation du polymère isolant. C'est pourquoi l'objectif de cette thèse était d'élucider le vieillissement radio-thermique de la matrice XLPE pure et chargé de trihydrates d'aluminium (ATH), et de mettre en place un modèle cinétique pour prédire la durée de vie de ces isolants. Une approche multi-échelles a permis d'évaluer l'impact du vieillissement radio-thermique sur les structures moléculaire, macromoléculaire, morphologique et sur les propriétés d'usage du polymère. Cette étude a montré que les coupures de chaîne entraînent une augmentation du taux de cristallinité et l'épaississement des lamelles cristallines, ce qui a conduit au confinement de la phase amorphe et par conséquent à la fragilisation du matériau. A l'issue de cette étude un modèle analytique a été développé qui a ensuite été complété par plusieurs relations structure/propriété dans le but de prédire également l'évolution des propriétés diélectriques. L'impact des charges ATH sur le vieillissement radio-thermique de la matrice Si-XLPE a ensuite été étudié. Cette étude a montré que les charges n'avaient aucune influence sur les cinétiques d'oxydation et de cristallisation, et par conséquent sur la cinétique de densification de la matrice Si-XLPE. Il a été constaté que les changements dans les propriétés élastiques sont principalement induits par la cristallinité de la matrice Si-XLPE. En revanche, les changements dans les propriétés de rupture sont significativement impactés par la dégradation de l'interface ATH/Si-XLPE. Enfin, le modèle cinétique précédemment développé pour la matrice Si-XLPE pure a été étendu aux matériaux composites en prenant en compte à la fois l'effet de dilution des charges d'ATH et la dégradation interfaciale.

**Mots clés :** Polyéthylène réticulé, Vieillissement radio-thermique, Modélisation cinétique, Trihydrate d'aluminium (ATH)

## **Abstract**

Cross-linked low density polyethylene (XLPE) is widely used in the insulation of power cables in nuclear power plants. Electrical cables are exposed to ionising radiation and relatively high temperatures which leads to the degradation of the insulating polymer. Therefore, the objective of this thesis was to elucidate the radio-thermal ageing of the pure and aluminum trihydrate (ATH) filled XLPE and to develop a kinetic model to predict the lifetime of these insulations. A multi-scale approach was used to evaluate the impact of radio-thermal ageing on the molecular, macromolecular and morphological structures and on the usage properties of the polymer. This study showed that chain scissions lead to an increase in the crystallinity ratio and the thickening of the crystalline lamellae, thus leading to the confinement of the amorphous phase and consequently to the embrittlement of the material. As a result of this study an analytical model was developed which was then completed by several structure/property relationships in order to also predict the changes in the dielectric properties. The impact of ATH fillers on the radiothermal ageing of the Si-XLPE matrix was then studied. This study showed that the fillers had no influence on the oxidation and crystallisation kinetics, and consequently on the densification kinetics of the Si-XLPE matrix. It was found that the changes in the elastic properties are mainly induced by the crystallinity of the Si-XLPE matrix. In contrast, the changes in fracture properties are significantly impacted by the degradation of the ATH/Si-XLPE interface. Finally, the kinetic model previously developed for the pure Si-XLPE matrix was extended to composite materials by taking into account both the dilution effect of ATH fillers and the interfacial degradation.

**Keyword** : Cross-linked polyethylene, Radio-thermal ageing, Kinetic modelling, Aluminum trihydrate filler (ATH)

## **Jury**

Pierre-Olivier BUSSIERE, Professeur, ICCF, Université Clermont-Auvergne, Président

Laurent FERRY, Professeur, IMT, Ecole des Mines d'Alès, Rapporteur

François-Xavier PERRIN, Professeur, MAPIEM, Université de Toulon, Rapporteur

Grégory STOCLET, Maître de Conférences, UMET, Université de Lille, Examineur

Muriel FERRY, Ingénieur de recherche, LRMO, CEA Saclay, Examinatrice

Maxime LACUVE, Ingénieur de recherche, Nexans NRC, Examineur

Xavier COLIN, Professeur, PIMM, ENSAM Paris, Directeur de thèse

Sébastien ROLAND, Maître de Conférences, PIMM, ENSAM Paris, Co-Directeur