



ETUDE DE LA TENUE AU VIEILLISSEMENT DES MATERIAUX POLYMERES EN ENVIRONNEMENT NUCLEAIRE

Application aux joints en élastomère

Sophie DELETTREZ
JSPM Groupe AREVA - JEUMONT

Patrick HEUILLET
LRCCP – VITRY SUR SEINE



INTRODUCTION (1/2)

Les élastomères, des matériaux d'interfaces...



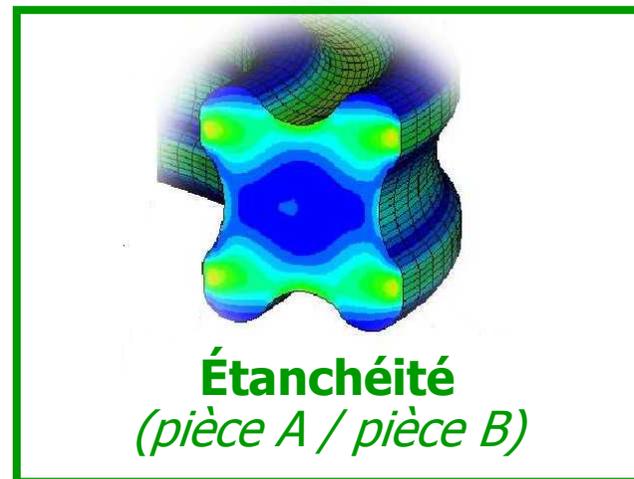
Pneumatiques
(jante / route)



Transfert de fluides
(volume A / volume B)



Applications vibratoires
(matériel / support)



Étanchéité
(pièce A / pièce B)



INTRODUCTION (2/2)

Étanchéité d'un joint : nécessité de maîtriser la pression de contact développée en service

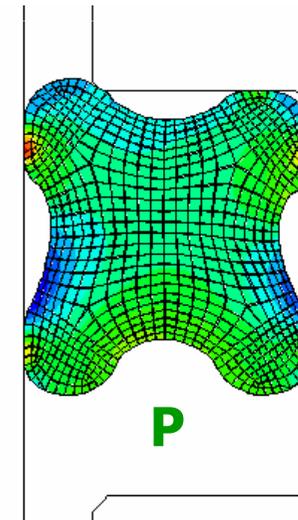
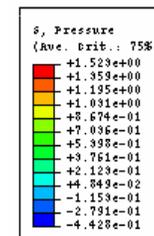
Géométrie du joint
et ses conditions de montage

Comportement mécanique du
matériau polymère (C/C, TPE...)

Conditions générales d'utilisation en service
pression, température, cycles...

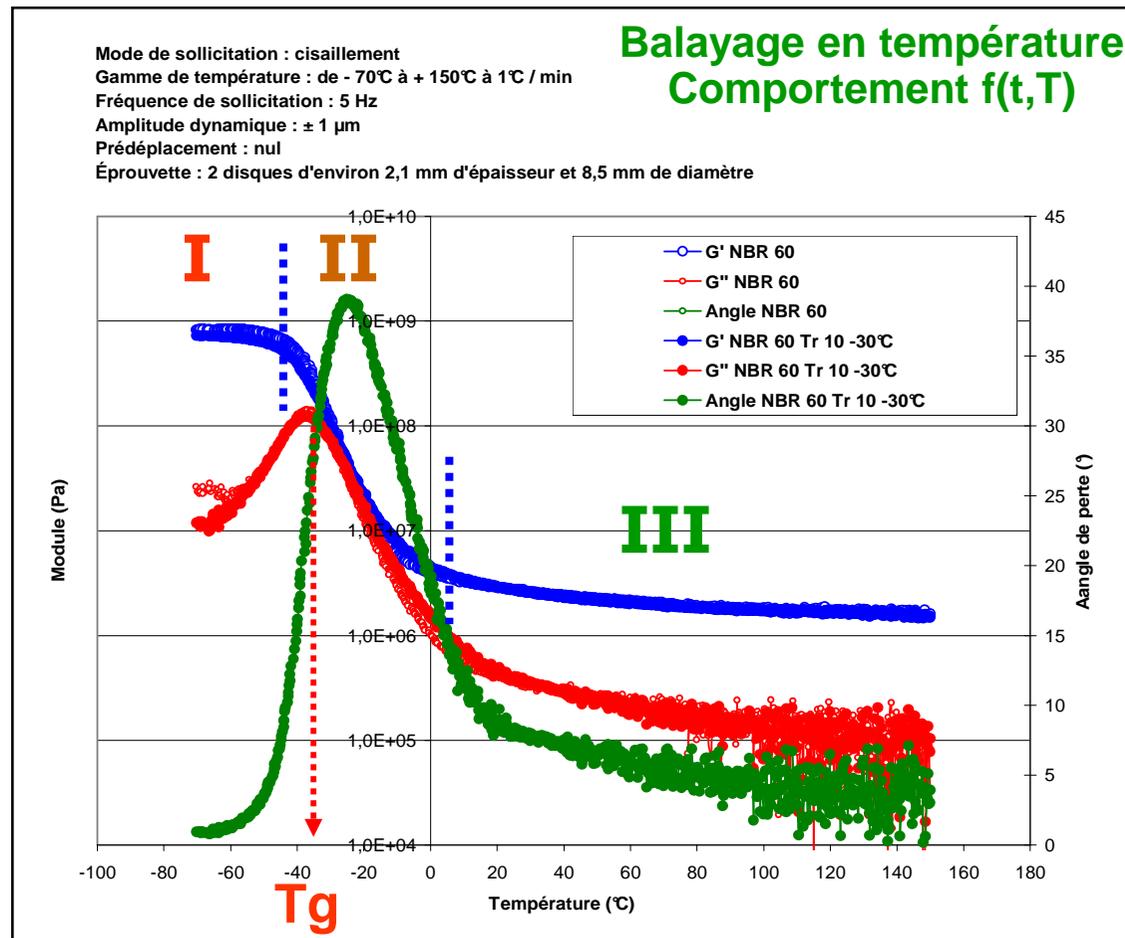
Interfaces polymère / métal
(frottement, accommodement, usure...)

Environnement en service
(fluides, température, décompression rapide, irradiation...)
=> Vieillessement / endommagement : modification du comportement





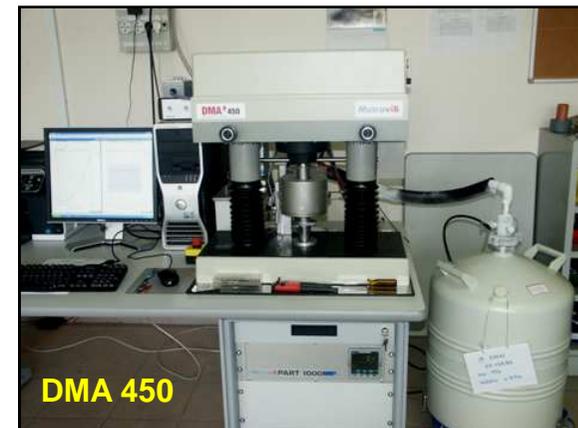
VISCOELASTICITE DES ELASTOMERES



Mesure METRAVIB
 Balayage en température
 Fréquence de 5 Hz
 Cisaillement simple

I : état vitreux
II : état viscoélastique
III : état caoutchoutique

$$T_{g_{5\text{Hz}}} = -37^\circ\text{C}$$





VIEILLISSEMENT DES JOINTS (1/3)

Prévision du **comportement thermomécanique à long terme**, évolution des propriétés intrinsèques de l'élastomère ? Conditionne directement la pression de contact développée par le joint

Nécessite de connaître précisément le profil de vie du joint (ou de la pièce) : *chargement mécanique, température moyenne, température en pointe, contact avec les fluides, irradiation...*

Pas de lois de vieillissement établies car les élastomères sont des **matières formulées par les fabricants des joints => **spécificité du comportement dans le temps des formulations en lien direct avec les conditions d'utilisation****



VIEILLISSEMENT DES JOINTS (2/3)

EXEMPLE INGRÉDIENTS D'UNE FORMULE



Noirs de carbone, plastifiants, polymère, agents de protection etc...

EXEMPLE D'UNE FORMULE

SBR	100
NOIR DE CARBONE N 330	50
HUILE AROMATIQUE	5
SOUFRE	1,5
ZnO	5
ACIDE STEARIQUE	2
ACCELERATEUR MBTS	1,5
ACCELERATEUR DPG	0,5
ANTIOXYGENE TMQ	2
ANTIOZONE IPPD	2
CIRE MICROCRISTALLINE	2

Ces ingrédients sont **mélangés**, le produit est **mis en œuvre, réticulé** suivant différentes techniques (joints : **moulage, extrusion**).

Lors de la **réticulation** => **création d'un réseau tridimensionnel**

Formulation et **mise en œuvre/vulcanisation** conditionnent largement le **comportement en vieillissement** (savoir faire des fabricants)



VIEILLISSEMENT DES JOINTS (3/3)

Deux approches couramment utilisées pour les prévisions de comportement à long terme des joints élastomère (méthodes normalisées) :

Principe d'équivalence temps/température (WLF), évolution viscoélastique de l'élastomère
=> relaxation, fluage dans le temps

Modèle d'Arrhénius, évolution physico-chimique de l'élastomère, évolution du réseau tridimensionnel

Dans les 2 cas, le comportement à long terme est appréhendé avec des **essais de vieillissement accéléré**.
Nécessité de bien maîtriser les conditions accélérées pour représenter la vie en service des joints
=> température, fluide, irradiation...



METHODOLOGIE DE PREDICTION

*Variation d'un **traceur** après service de X années à $T_0^{\circ}\text{C}$*
*Détermination d'une **condition de vieillissement***
***accélérée équivalente** => **Arrhenius** (T , fluide, irradiation)*



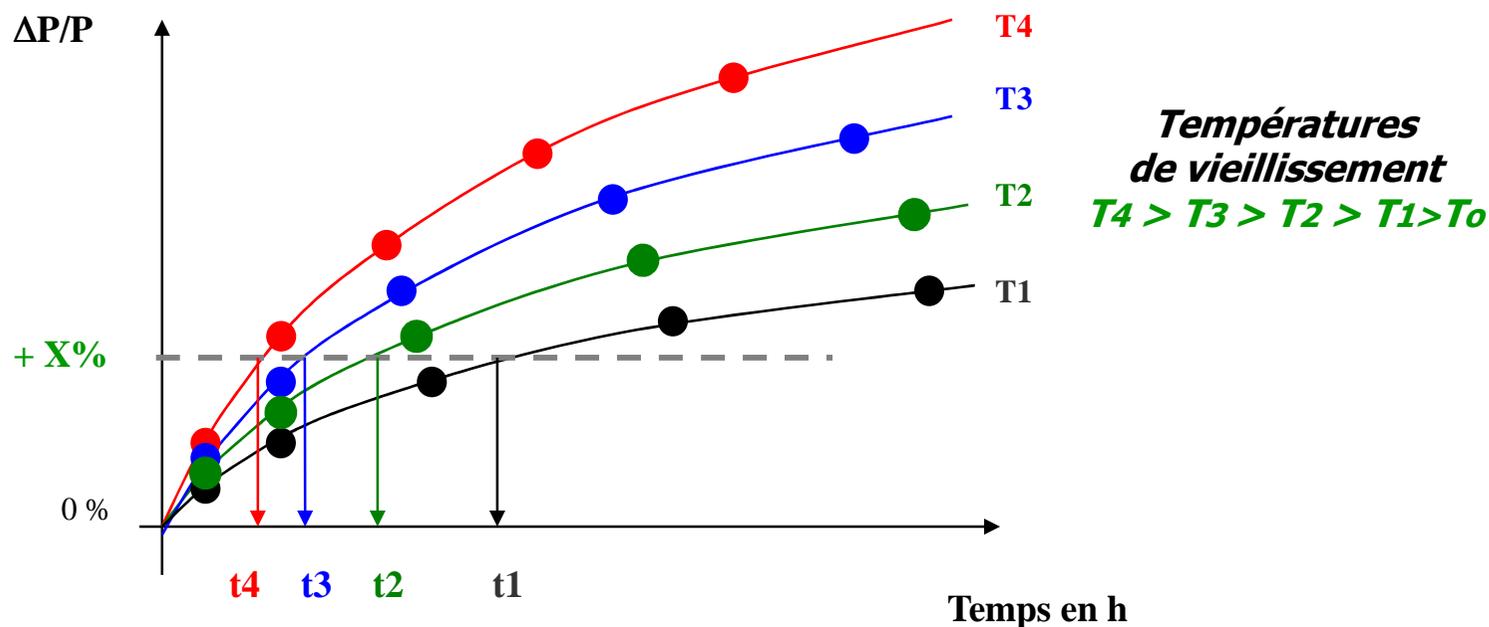
Exposition au vieillissement accéléré de joints
et/ou d'éprouvettes dans des conditions équivalentes



Vérification de l'opérabilité par essais directs
et/ou par
Approche analytique (calcul/règle de dimensionnement)
et/ou par
Simulation numérique par EF (loi de comportement)
Rebouclage avec des résultats déjà existants si possible



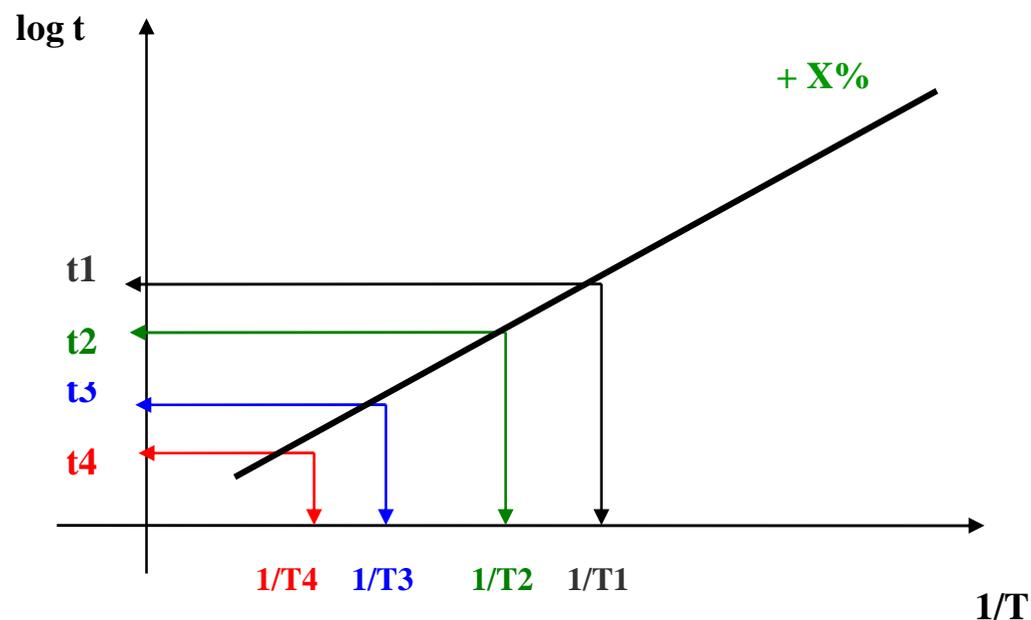
TRAITEMENT ARRHENIUS (1/3)



Evolution du traceur P après vieillissement accéléré
Variation du traceur : +X% - Variation positive ou négative
Exemple de traceurs : modules, propriétés limites, raideurs...

Nécessité de prendre en compte toutes les conditions de service : fluide, irradiation, température...

TRAITEMENT ARRHENIUS (2/3)

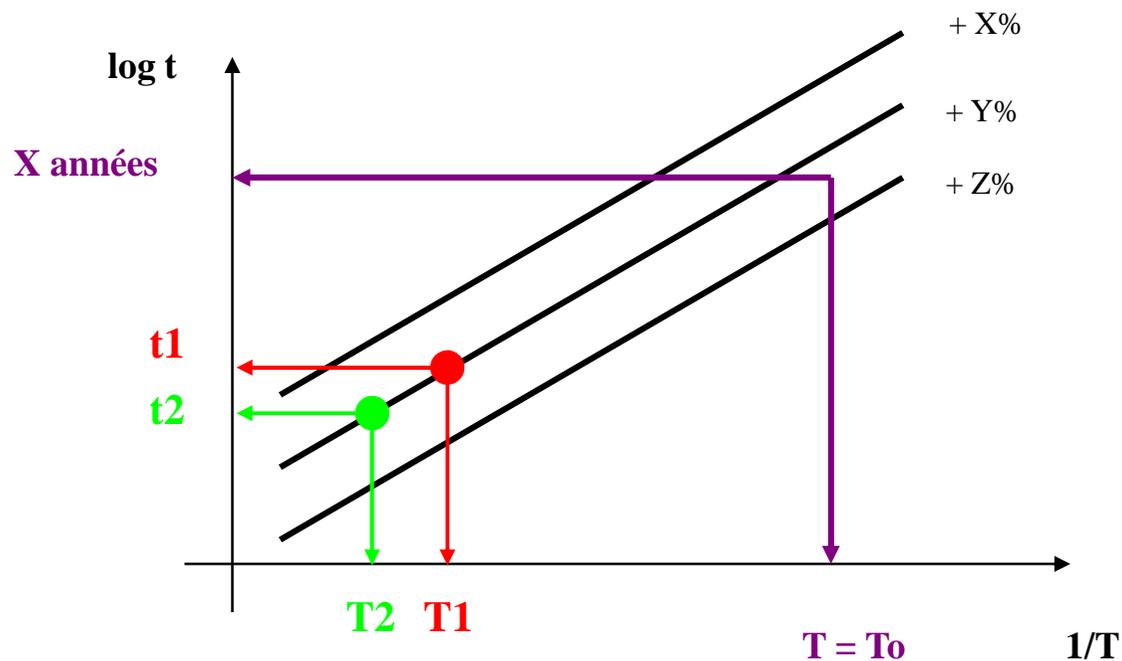


$$\text{Log } t = (E/R) \frac{1}{T} + b$$

Tracé des droites d'Arrhénius – Détermination de E
 E : énergie d'activation J/mol, $R=8.34$ J/mol.K, T en K



TRAITEMENT ARRHENIUS (3/3)



Variation du traceur après X années à $T_0^\circ\text{C}$
Détermination d'une condition de vieillissement
accélérée équivalente

X années à $T_0^\circ\text{C}$ équivalent à t_1 jours à $T_1^\circ\text{C}$ ou t_2 jours à $T_2^\circ\text{C}$



QUELQUES LIMITES DE L'APPROCHE

1 : Nécessité de connaître précisément les conditions d'exposition en service des joints...

**2 : Approche Arrhenius utilisable que si les mécanismes d'évolutions physico-chimiques restent les mêmes pour les conditions accélérées
Les conditions d'exposition doivent être bien définies**

3 : Il existe des conditions de vieillissement sur joints (ou sur pièces polymères d'une manière générale) extrêmement difficiles à représenter d'une manière concomitante : possibilité d'utiliser des **vieillissements séquencés mais attention à l'additivité des vieillissements...**

=> Programme de vieillissement spécifique pour une application