



# **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...



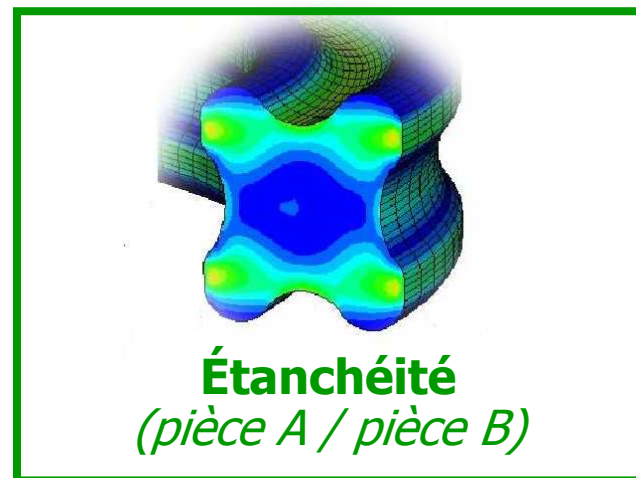
**Pneumatiques**  
*(jante / route)*



**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

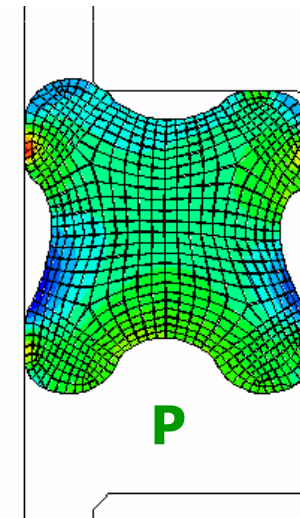
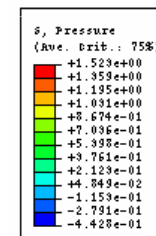
Géométrie du joint  
et ses conditions de montage

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

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

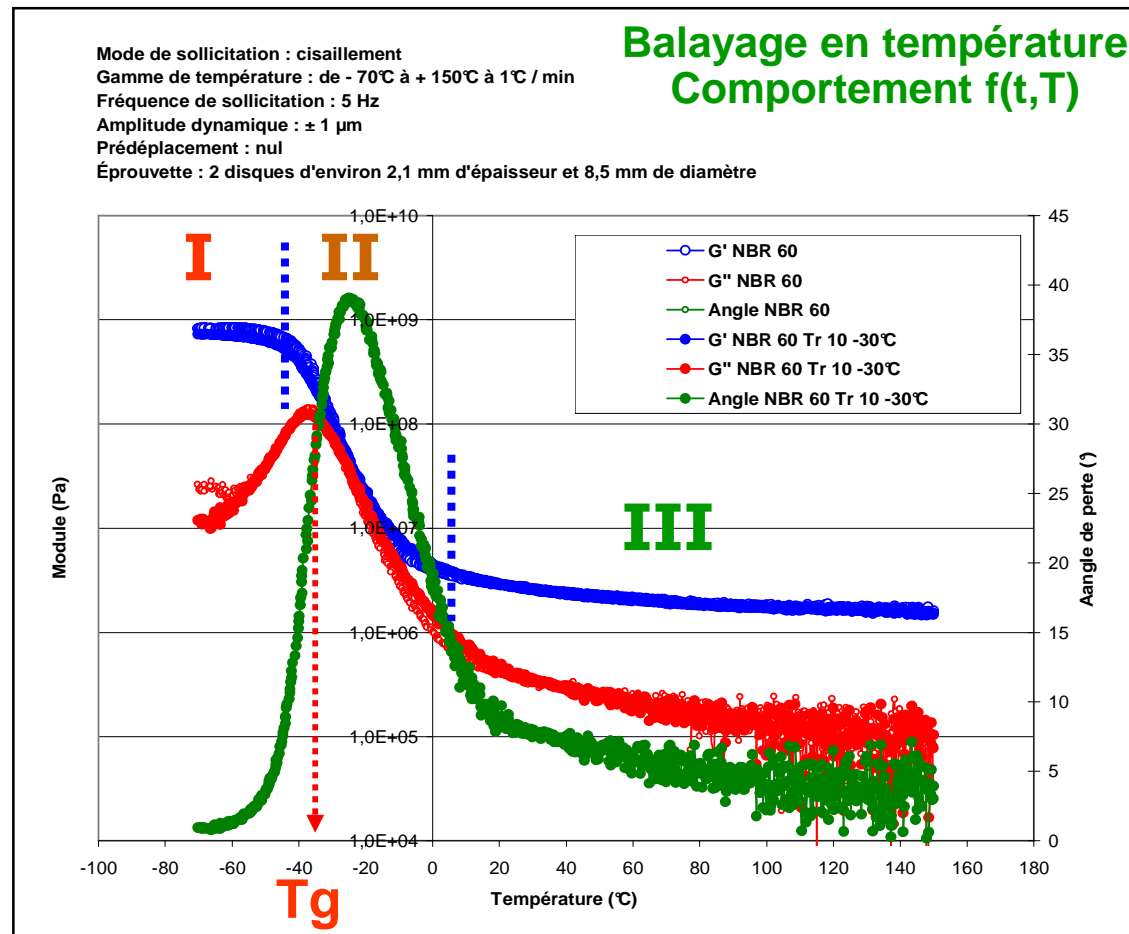
Interfaces polymère / métal  
(frottement, accommodement, usure...)

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





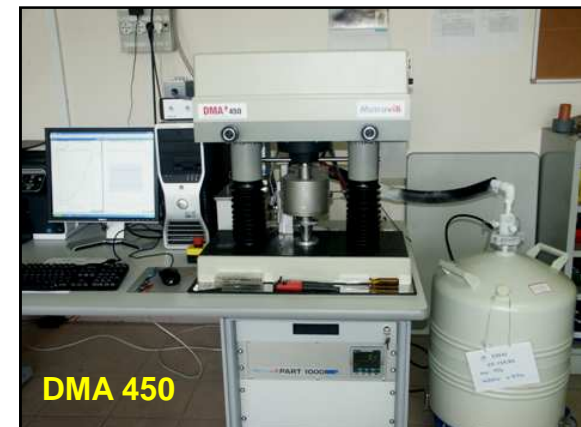
# VISCOELASTICITE DES ELASTOMERES



**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

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

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**

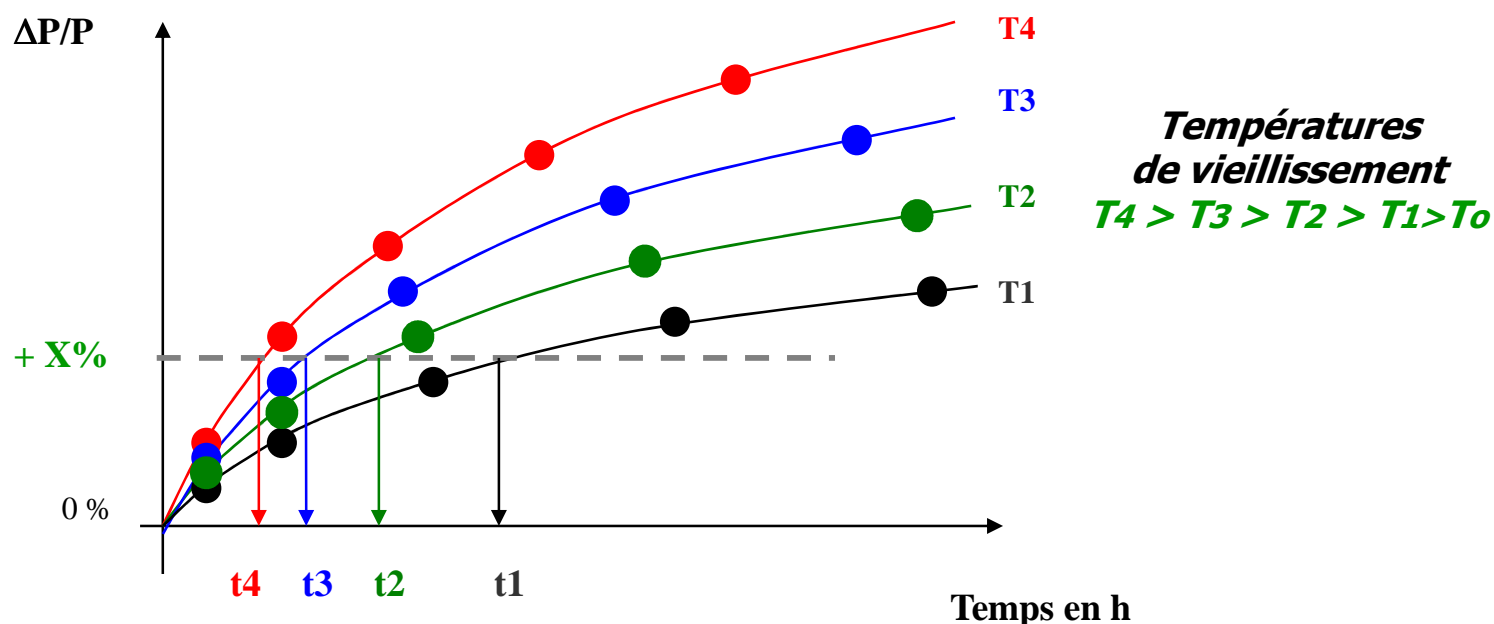


**Vérification de l'opérabilité par essais directs**  
*et/ou par*  
**Approche analytique** (calcul/règle de dimensionnement)  
*et/ou par*  
**Simulation numérique par EF** (loi de comportement)  
**Rebouclage avec des résultats déjà existants si possible**





# TRAITEMENT ARRHENIUS (1/3)

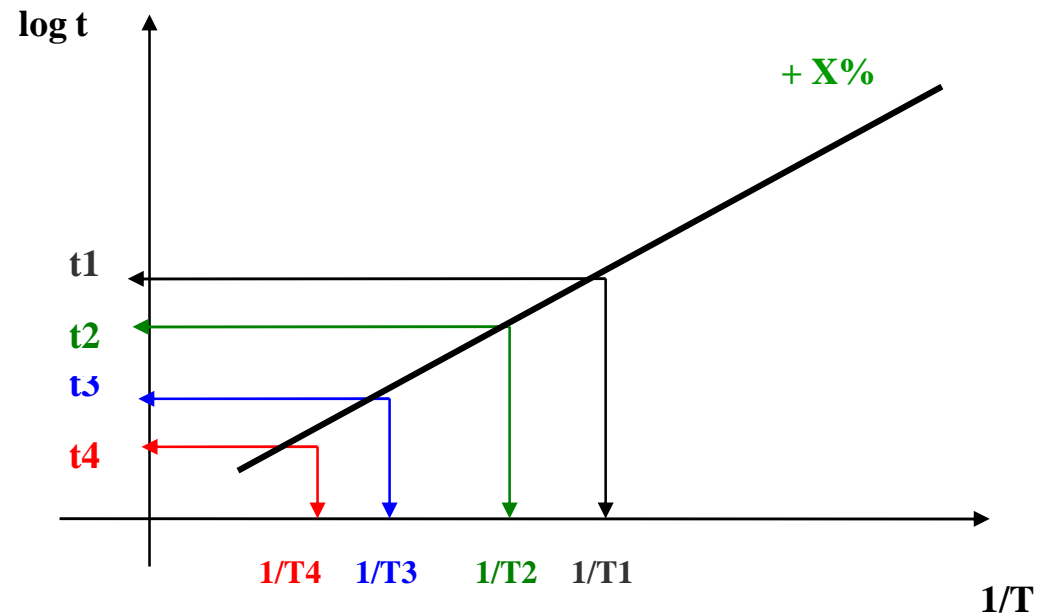


***Evolution du traceur P après vieillissement accéléré***  
***Variation du traceur : +X% - Variation positive ou négative***  
***Exemple de traceurs : modules, propriétés limites, raideurs...***

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



# TRAITEMENT ARRHENIUS (2/3)

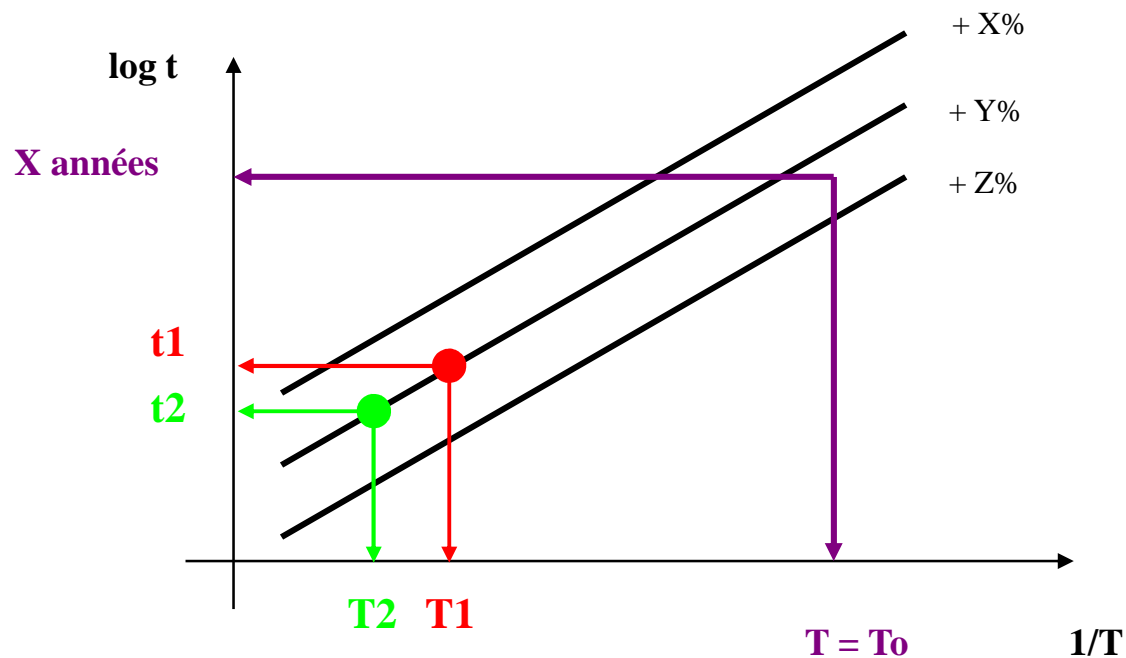


$$\text{Log } t = (E/R) \frac{1}{T} + b$$

**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**