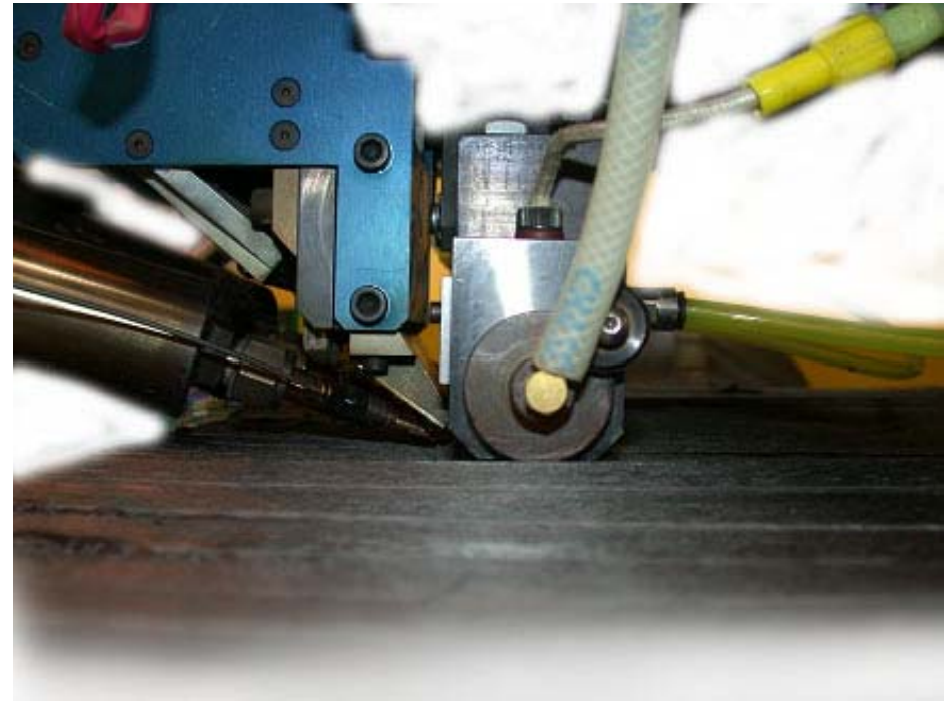


MODELISATION DU SOUDAGE DES THERMOPLASTIQUES ET DE LEURS COMPOSITES: UNE APPROCHE MULTIPHYSIQUE



G. Régnier,
C. Nicodeau, J. Verdu, F. Chinesta

J. Cinquin



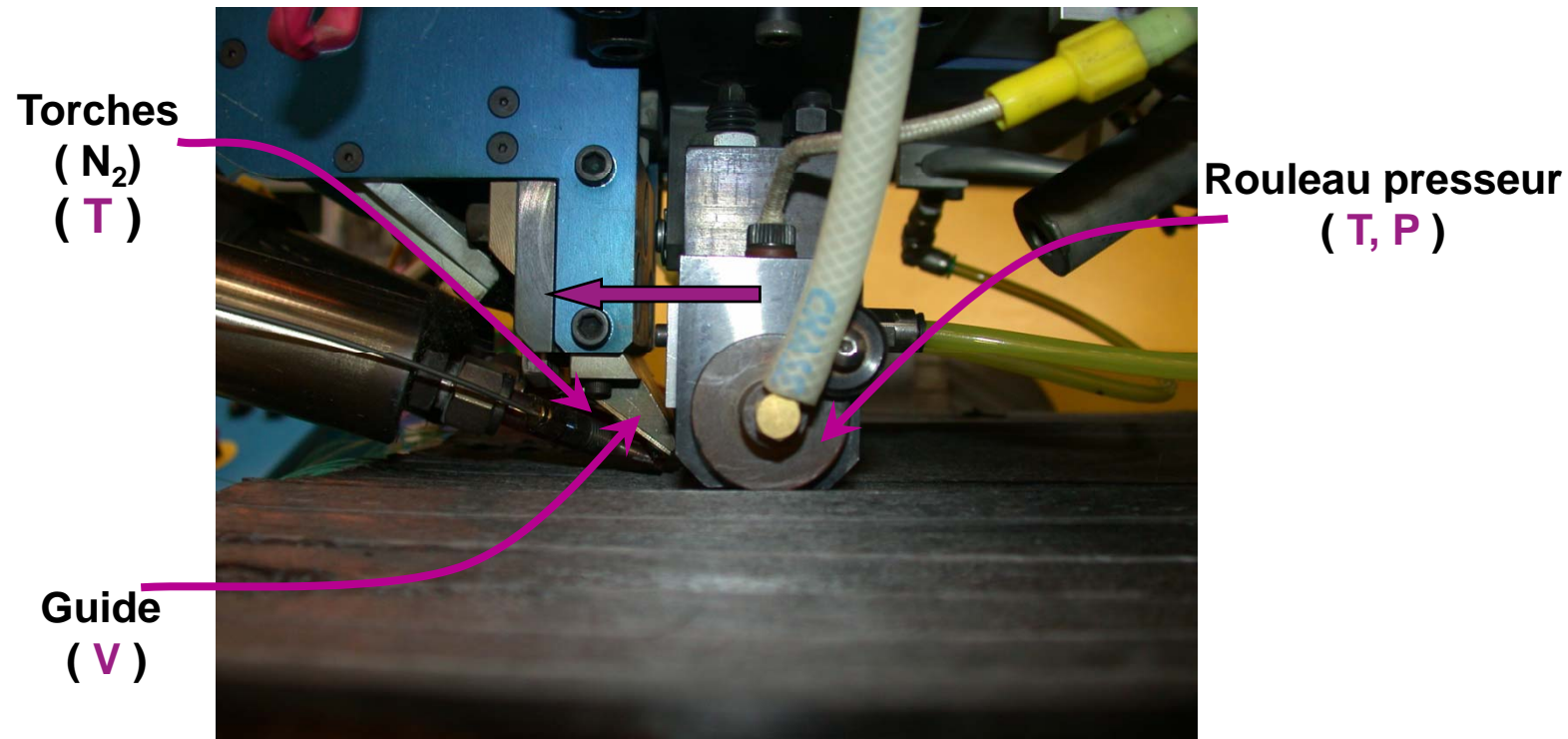
SOCIETE FRANÇAISE DE THERMIQUE

Nantes - 25 septembre 2009

*Matériaux et structures composites :
Caractérisation thermique et transferts
dans les procédés de mise en forme et d'assemblage.*

Procédé « Drapcocot »

- Placement et consolidation en continu de composites thermoplastiques
- Matériau APC-2 : fibre de carbone / bande PEEK



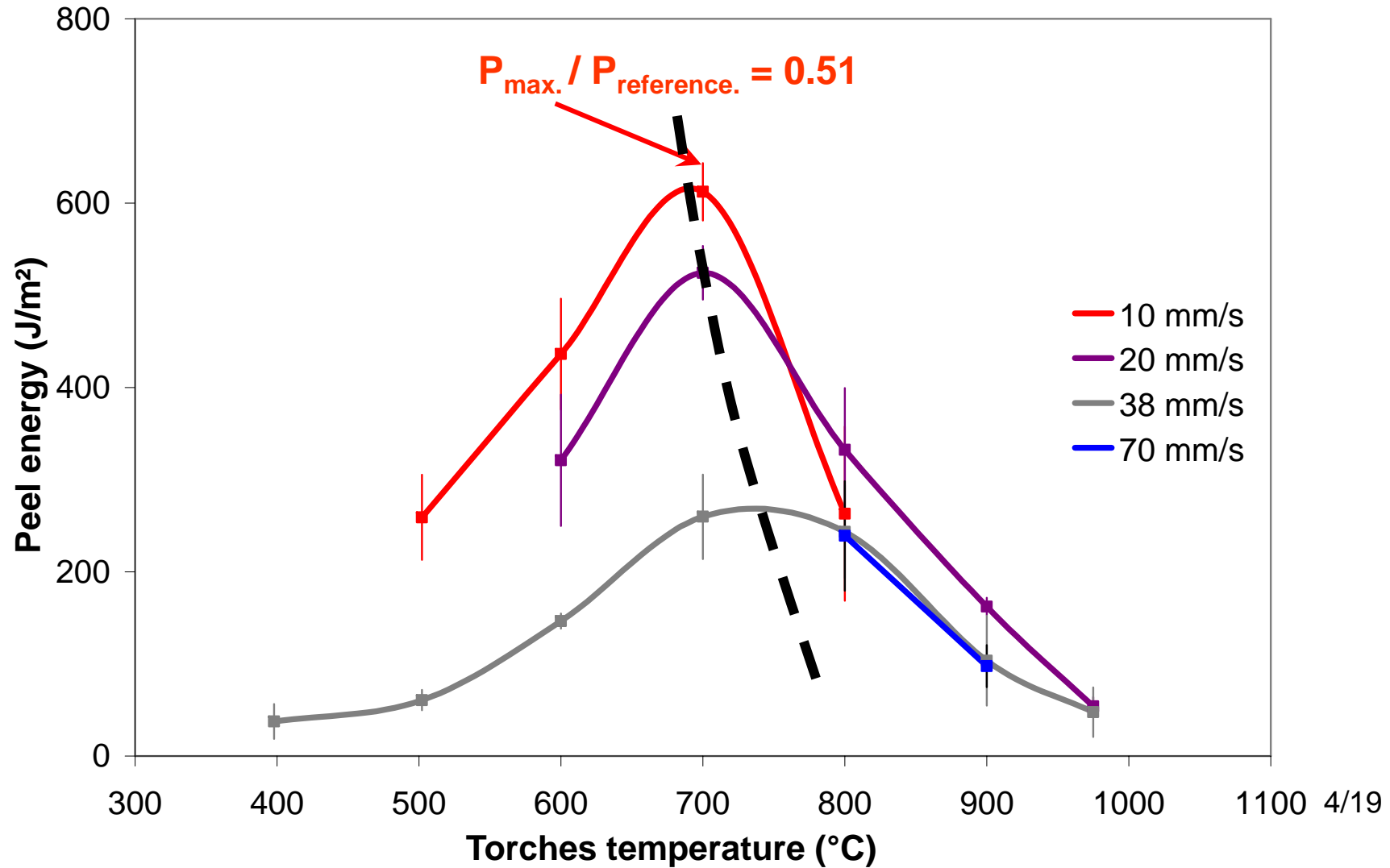
Procédé « Drapcocot »



Prototype: pas de pièces industrielles sur Drapcocot

Adhésion interfaciale

Essais préliminaires



Approche multiphysique et problème couplé

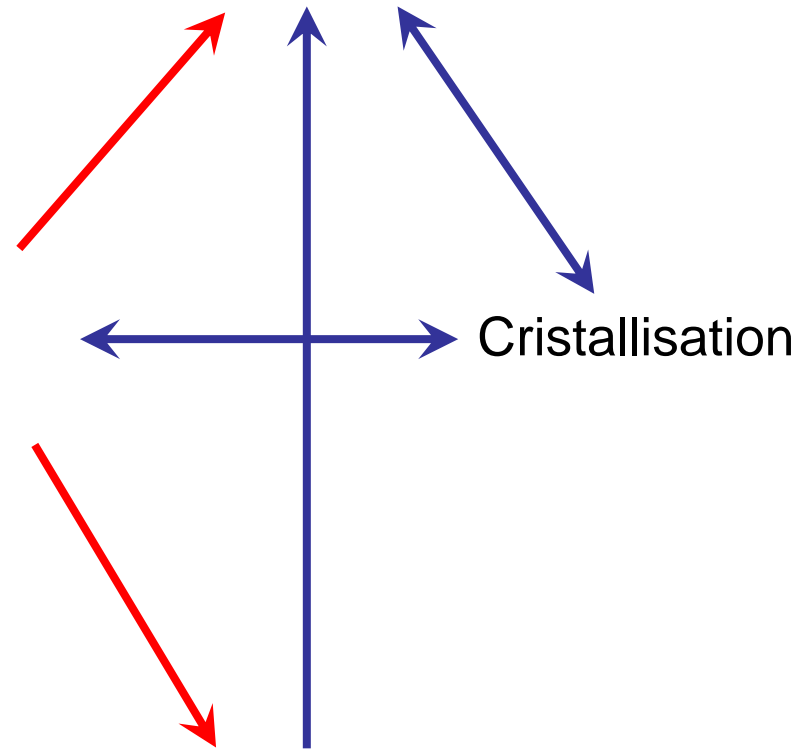
Qualité interfaciale du soudage

Diffusion des macromolécules

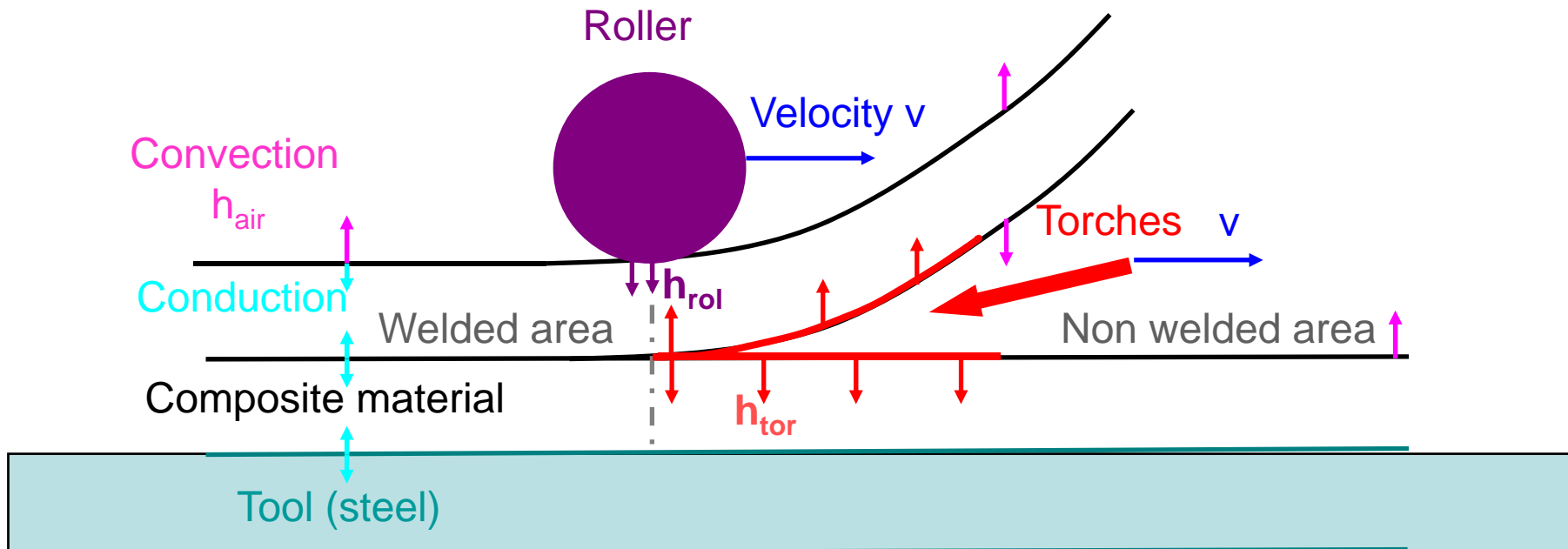
Histoire thermique

Cristallisation

Dégradation thermique



Thermal modèle : principe

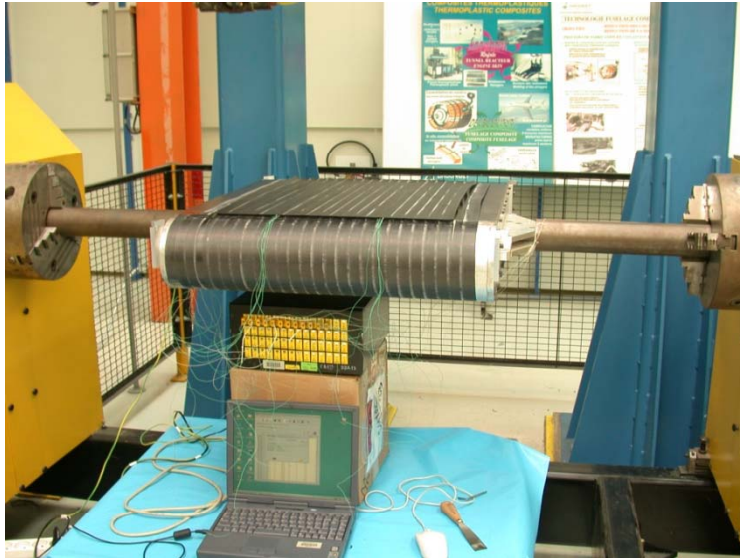


Formulation 2D explicite en volume fini

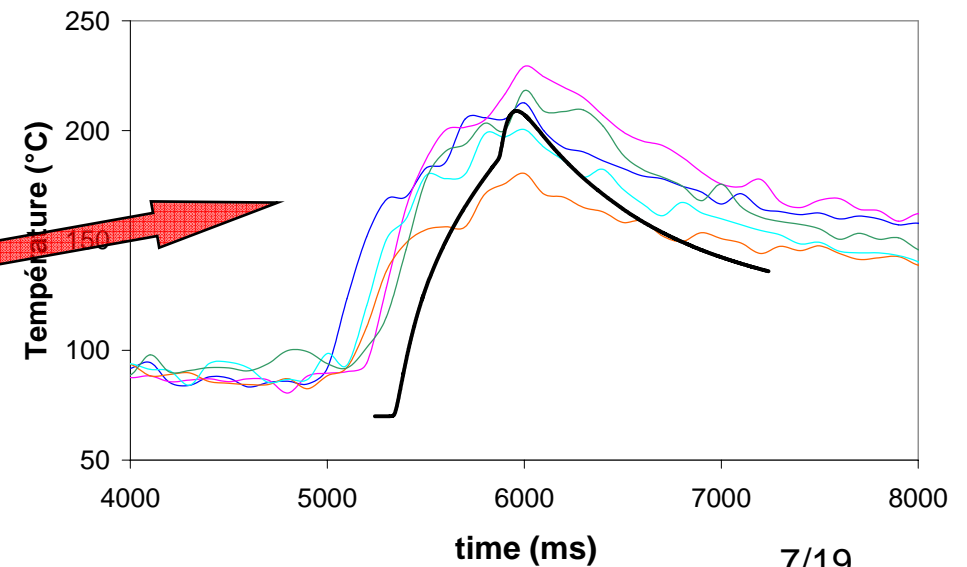
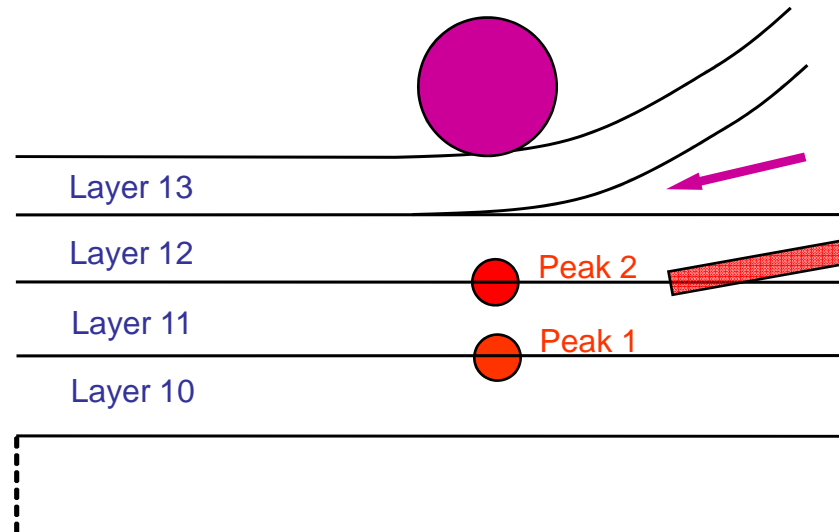
Equation générale de la chaleur

$$\rho C_p \frac{dT}{dt} = \Phi_{conduction / convection} + \Pi_{crystallisation} + \Pi_{fusion}$$

Caractérisation thermique expérimentale

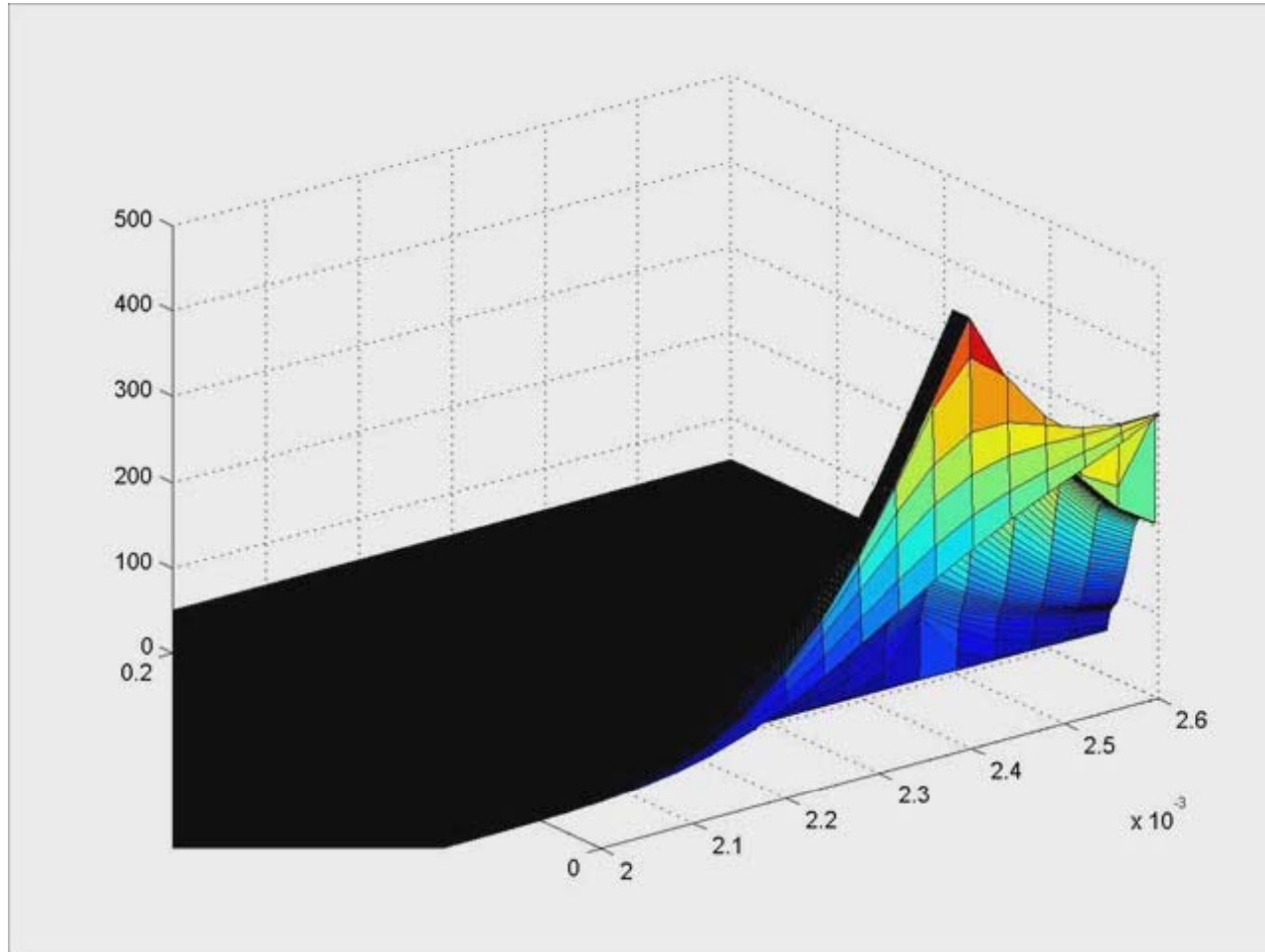


*Insertion de thermocouples
entre les bandes*



Identification des coefficients de transfert thermiques

Temperature

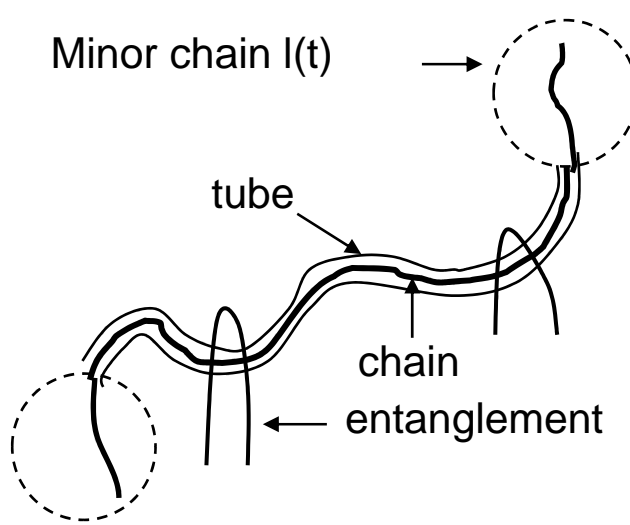


Torches displacement

Thickness

Simulation example : Placement of the tape 13

Théorie de la reptation des macromolécules (De Gennes)



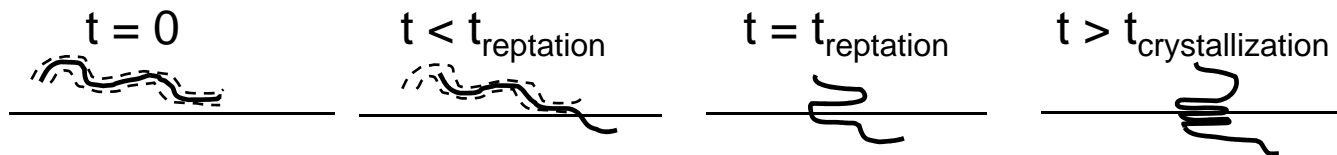
Minor chain $l(t)$

tube

chain entanglement

Chain confined in the tube

- The chain can only move along the curvilinear length of tube
- Its ends can escape from the tube in any direction
- The initial configuration of the tube is lost step by step until time reaches $t_R \sim M^3$



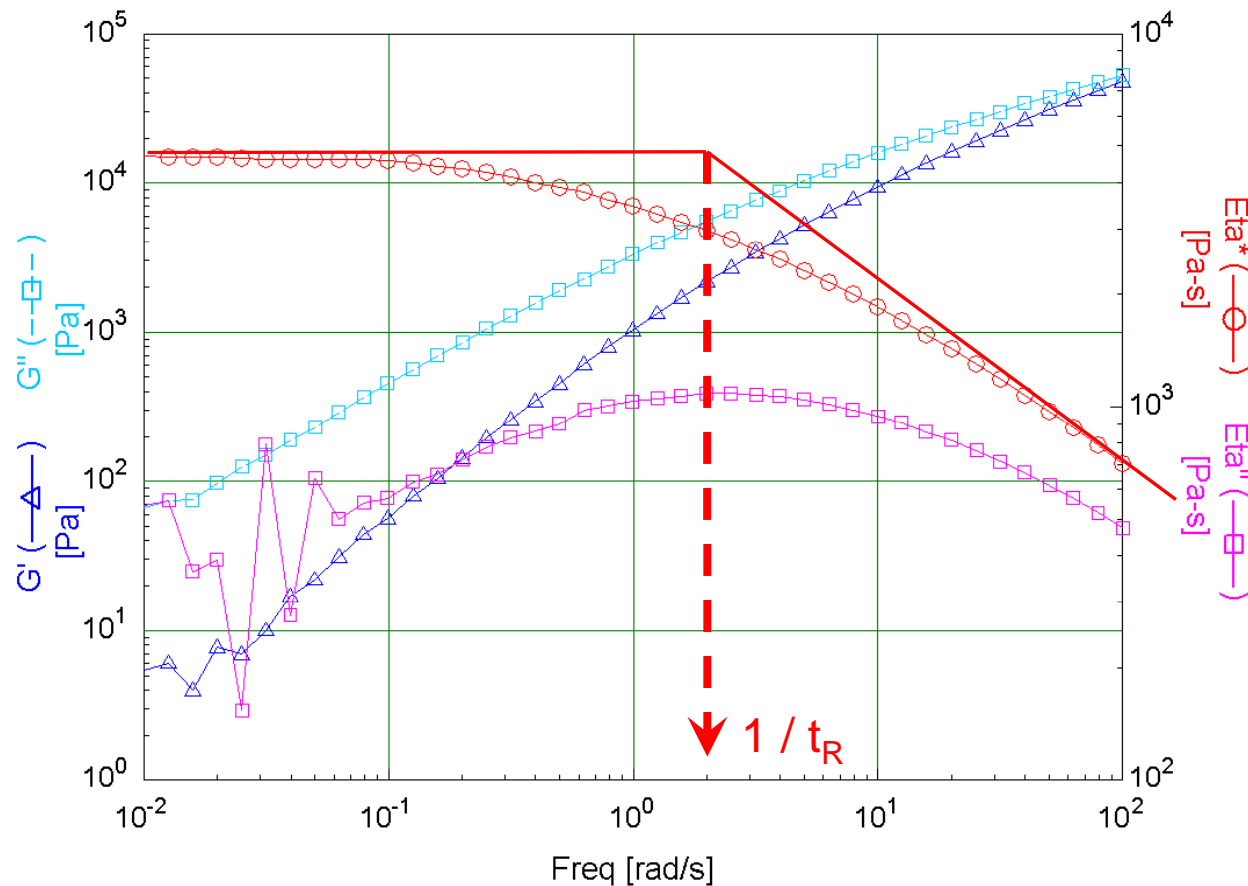
➔ Au-delà de t_R , cicatrisation de l'interface

Temps de relaxation approché par essais rhéologiques

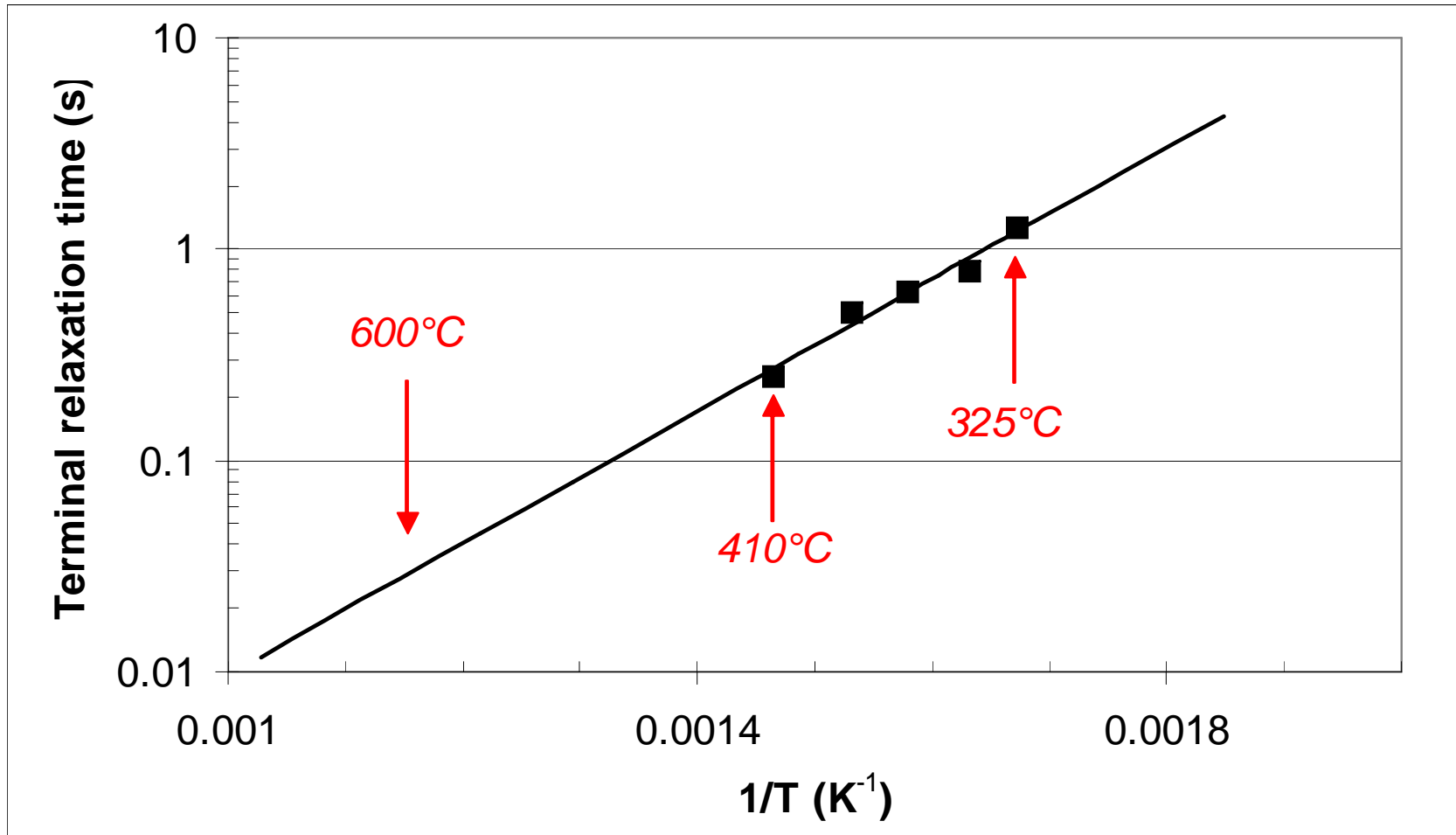
Cisaillement dynamique sous N_2 - $T \in [310^\circ\text{C}, 410^\circ\text{C}]$

déformation = 2% - fréquence $\in [10^{-2} \text{ rd/s}, 10^2 \text{ rd/s}]$

PEEK G450 - $T = 360^\circ\text{C}$ - strain 2%



Temps de reptation = $f(T)$: dépendance Arrhenienne

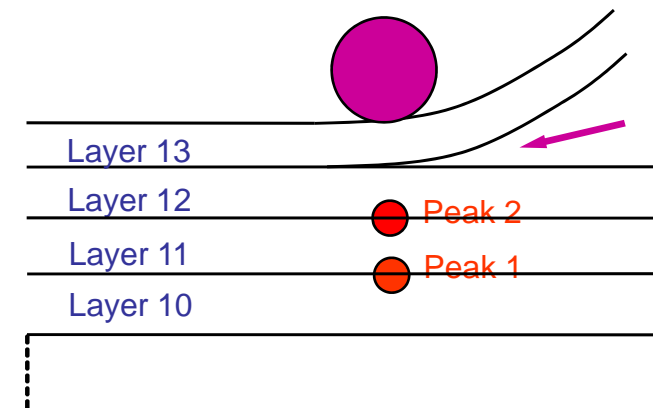
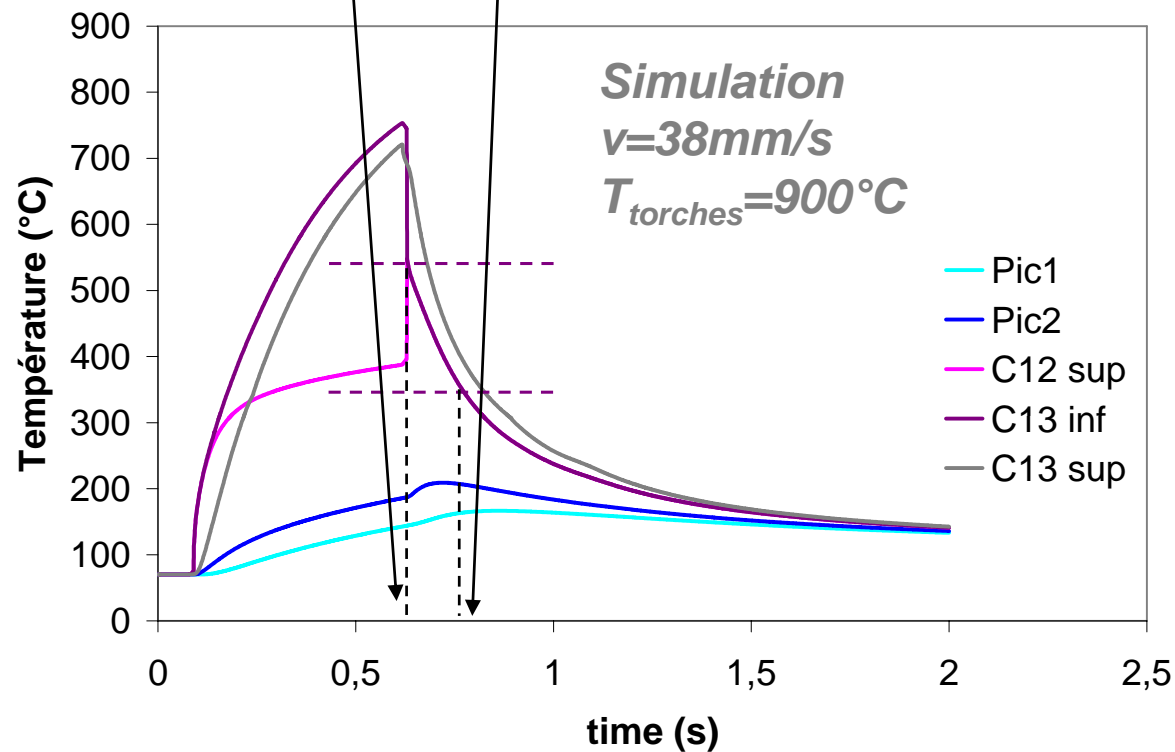


Prédiction de la diffusion des chaines

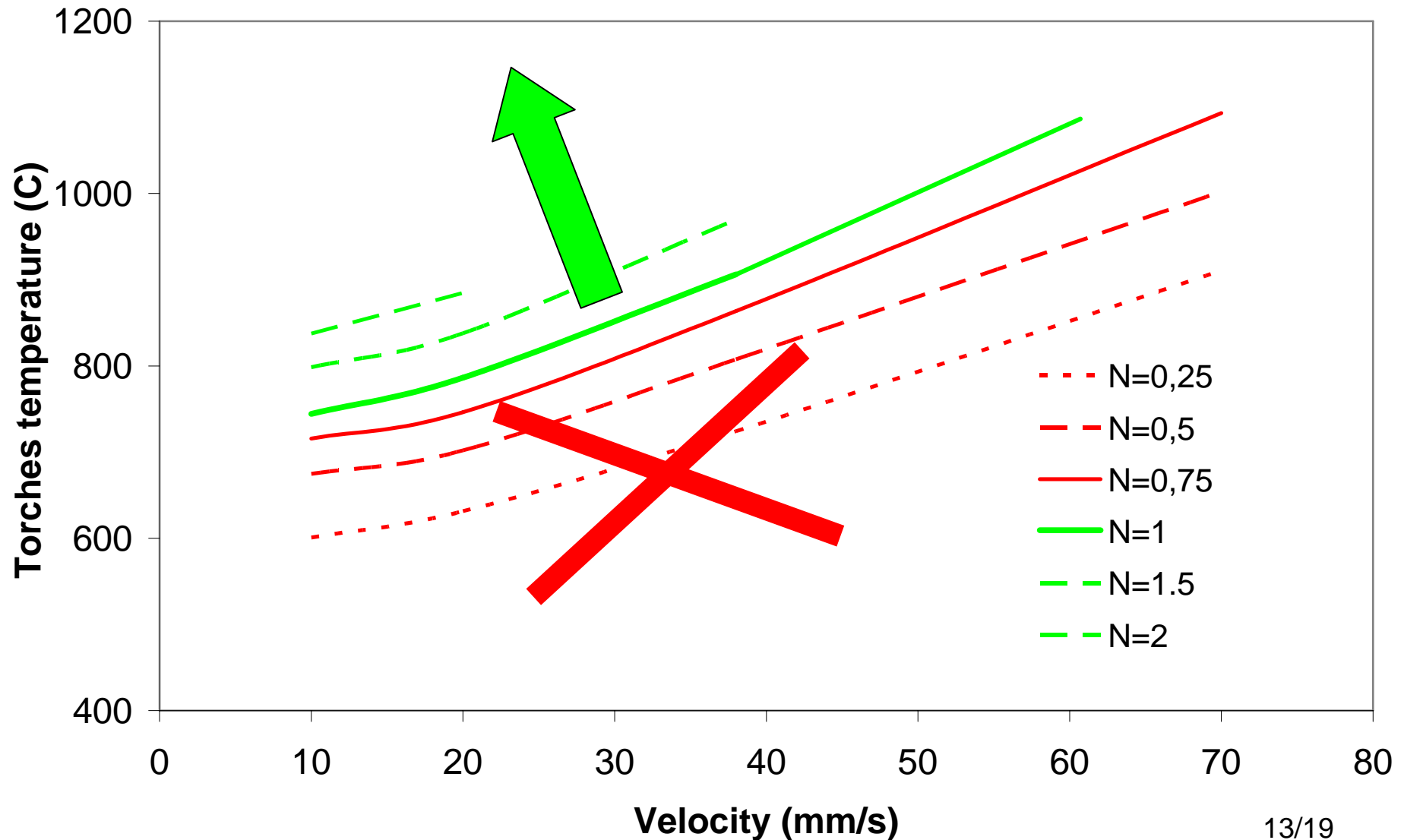
N : nombre de fois qu'une chaîne renonce à sa configuration
 Pour $N \geq 1$ sougave « parfait »

Extrapolation de l'équation monodimensionnelle à une histoire non-isotherme

$$N = \int_{t_{\text{contact}}}^{t_{\text{crystallisation}}} \frac{dt}{t_R(T(t))}$$

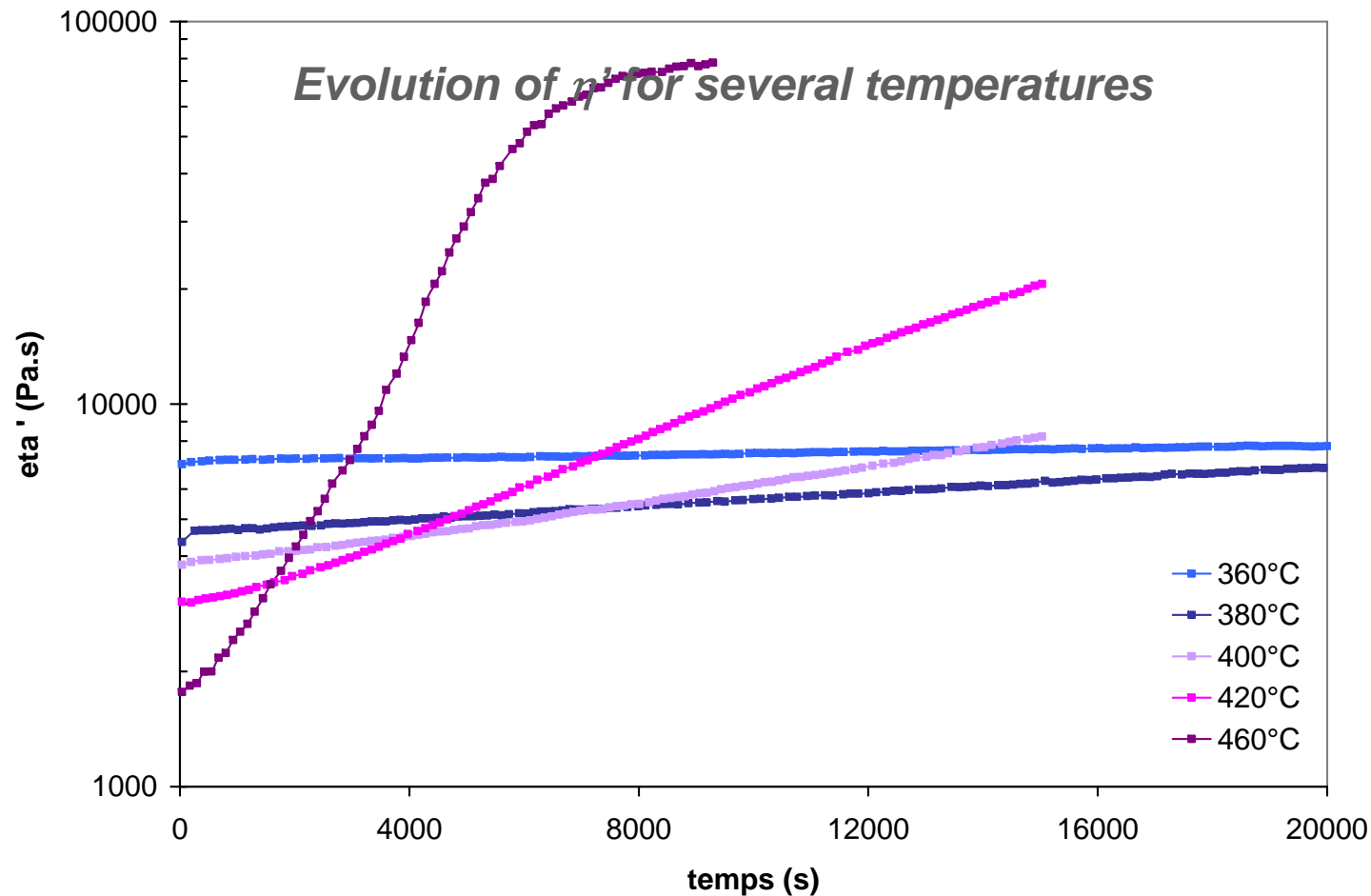


Courbes Iso-diffusion dans la fenêtre procédé

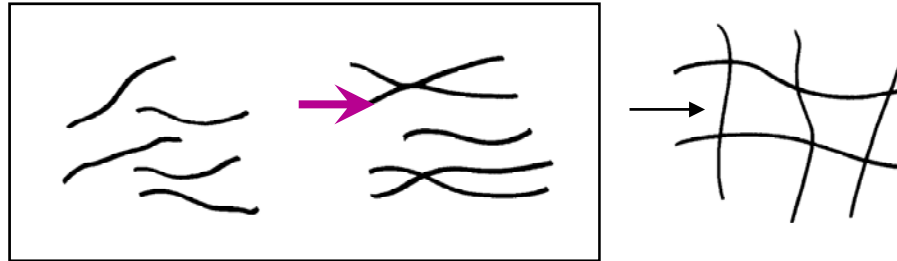


Dégradation thermique du PEEK

Dégradation : réticulation due à un mécanisme d'oxydation



Cinétique de réticulation



Hypothèse :

- bas taux de conversion

Concentration de nœuds de réticulation (mol/g)

$$r = \frac{1}{M_{n_0}} - \frac{1}{M_n} = \frac{I_{P_0}}{M_{W_0}} - \frac{I_P}{M_W}$$

- Chaines linéaires

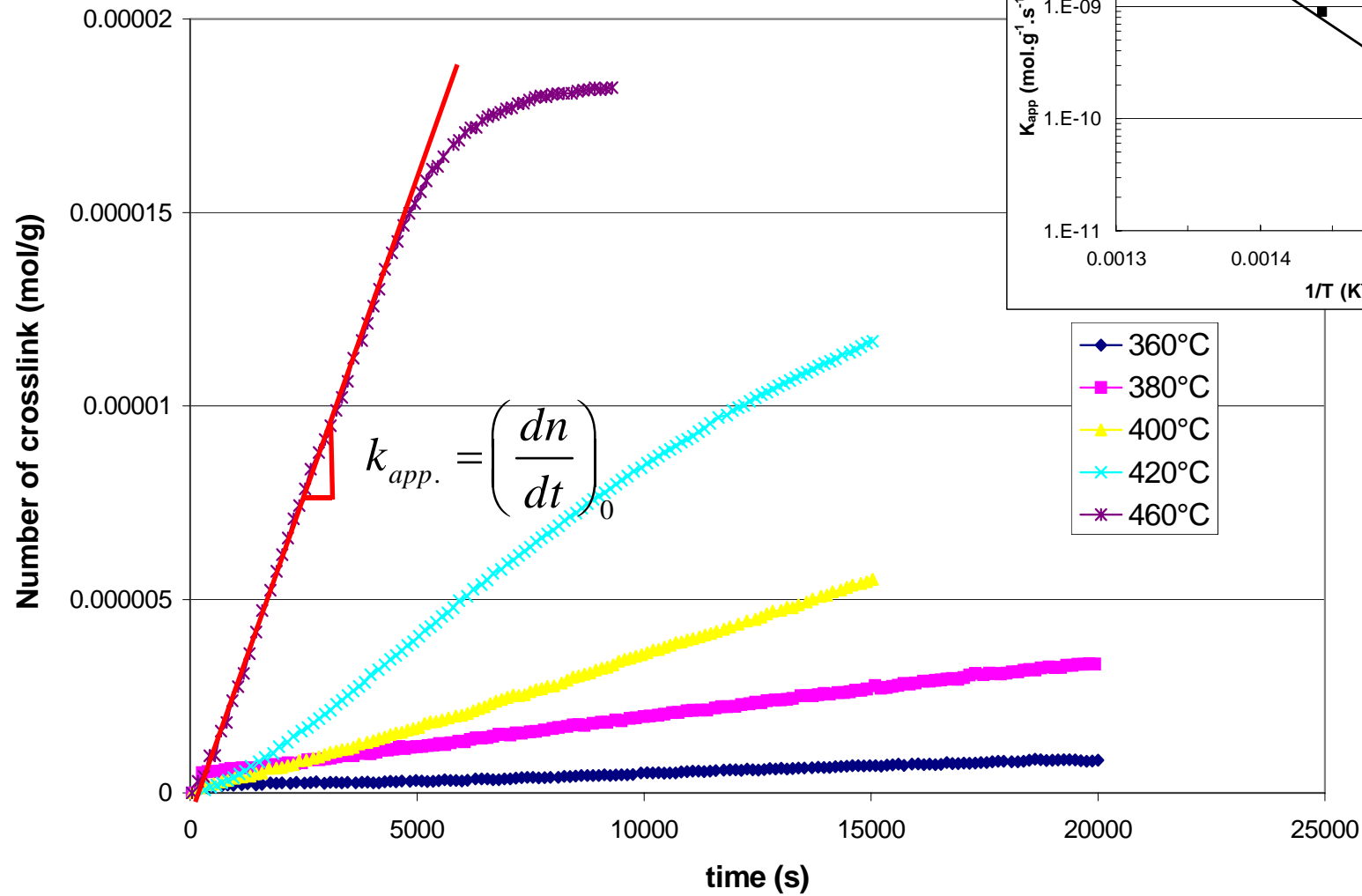
Concentration déterminée à partir d'essais de dégradation

$$r = \frac{I_{P_0}}{M_{W_0}} \left[1 - \left(\frac{\eta_0'}{\eta'} \right)^{1/3,4} \right]$$

Référence autoclave

$$r = 10^{-7} \text{ mol / g}$$

Constante cinétique = $f(T)$

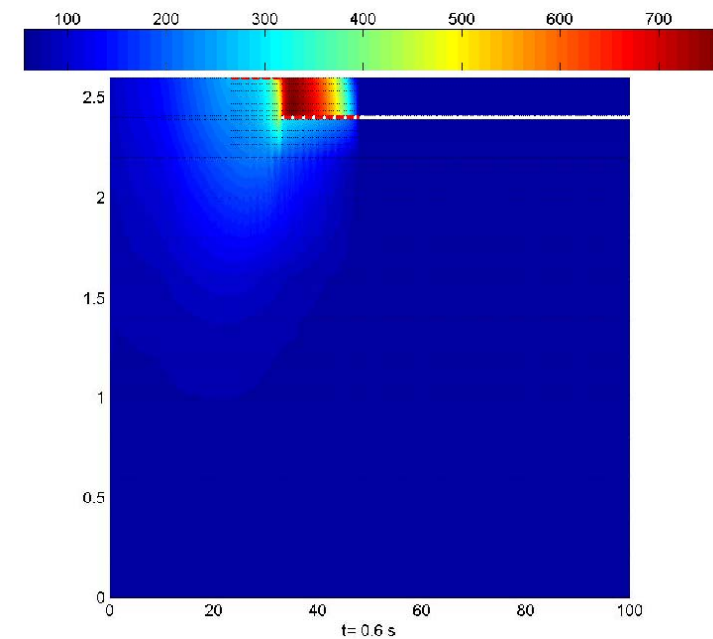
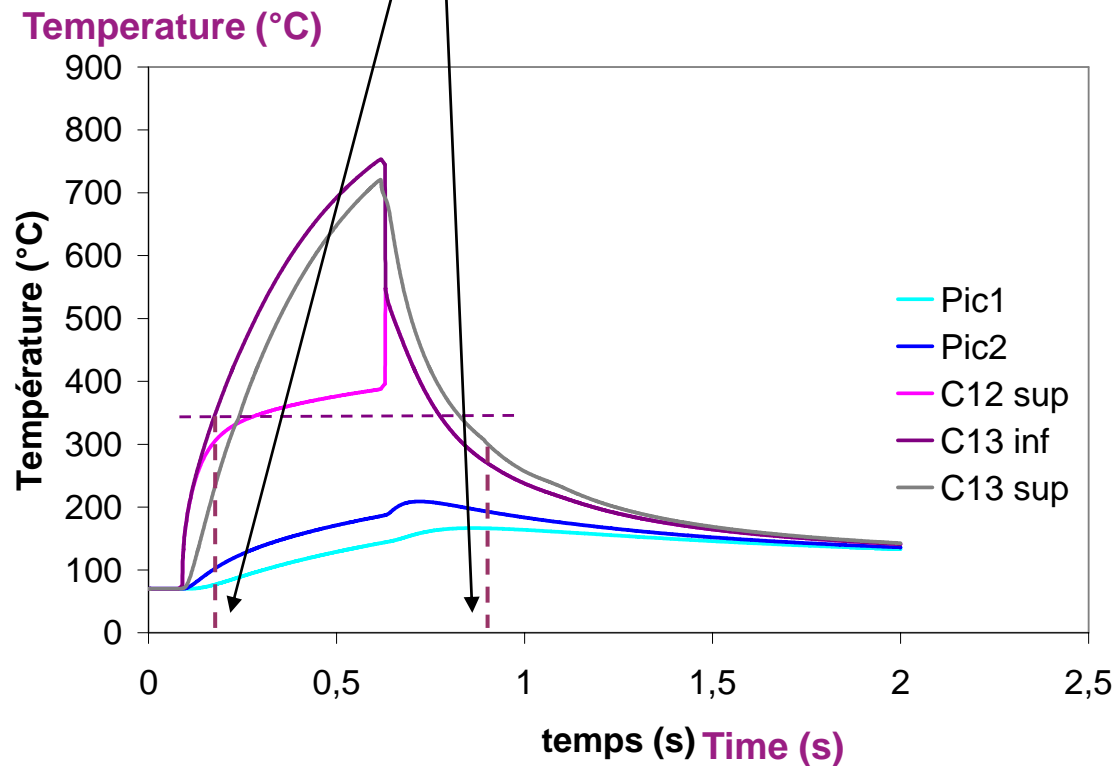


$$r = K_{app} t \quad . \quad K_{app} \text{ suit une loi d'Arrhenius}$$

Prédiction de la dégradation

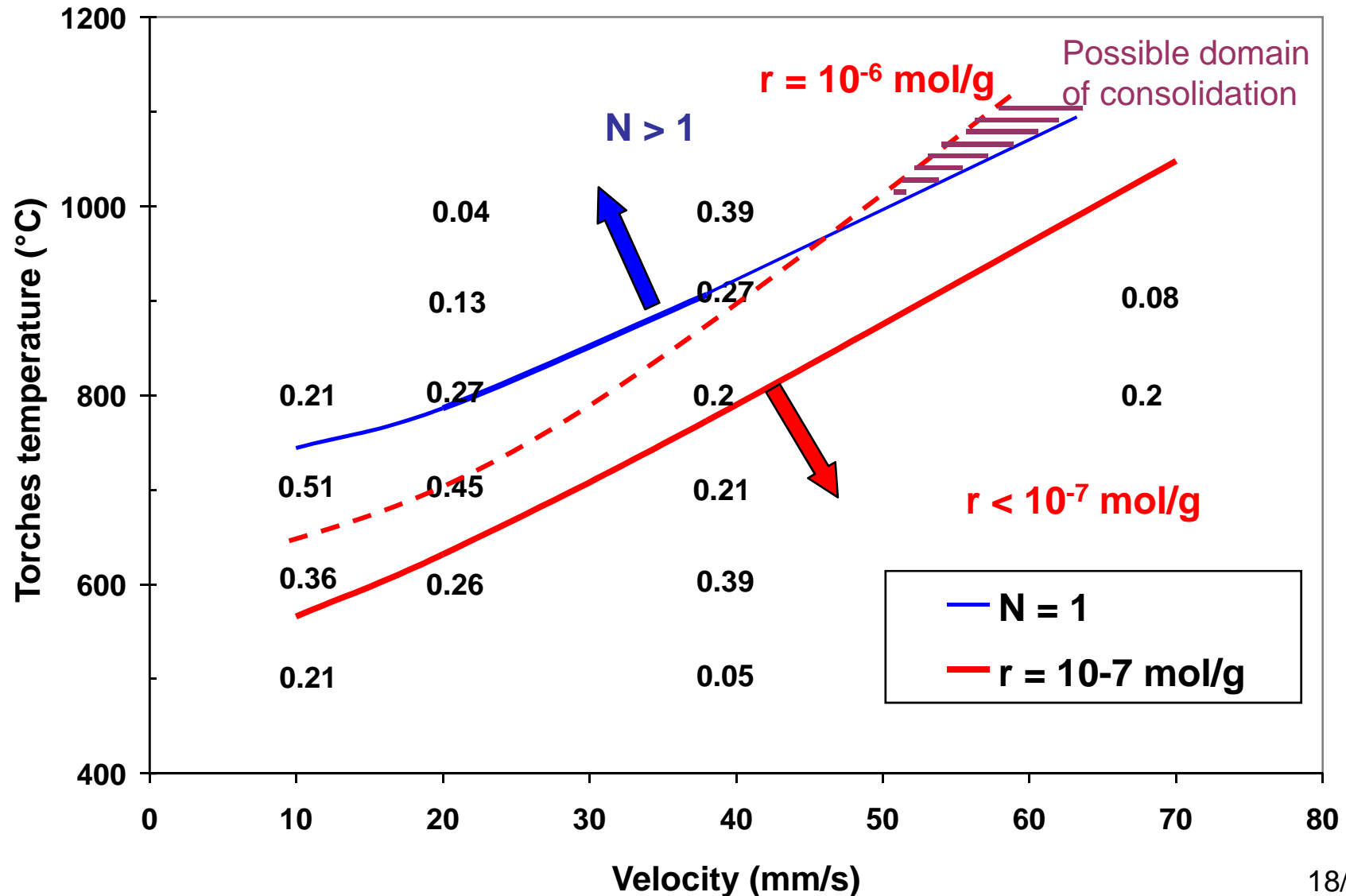
Concentration en noueds de réticulation pour une histoire thermique

$$r = A \int_{t_{melt}}^{t_{crystallisation}} \exp\left(-\frac{E_a}{RT(t)}\right) dt$$



Simulation pour $v=38\text{mm/s}$ and $T_{torches}=900^\circ\text{C}$

Zone de soudage dans la fenêtre de procédé



Iso-valeurs (N et r) et rapport (P/P_{ref}) de pelage

Conclusion

Modélisation de deux phénomènes antagonistes couplés:

- Diffusion des macromolécules
- Dégradation

- Pas de « bonne zone de soudage » dans la configuration testée



Modification du procédé



Extension du modèle thermique : ajout du comportement mécanique afin de prédire les déformations résiduelles

Principe de la modélisation applicable
à tous les procédés de soudage de thermoplastiques