

Modélisation des propriétés viscoélastiques linéaires d'amidon de pomme de terre amorphe en fonction de la température et de la teneur en eau



M. Kristiawan, L. Chaunier, G. Della Valle,
D. Lourdin, S. Guessasma

GFR - Modèles et Rhéologie - Nantes, 28-30 Octobre 2013



➤ Contexte

- Nouveaux biomatériaux à base d'amidon pour usage dans domaines biomédical et alimentaire, i.e. bio polymère à mémoire de forme
- **Sensibilité de l'amidon à l'eau; i.e. déshydratation** pendant la mise en forme à température élevée

➤ Objectif

Déterminer le **comportement viscoélastique linéaire** de l'amidon de pomme de terre amorphe en fonction de la température et de la teneur en eau et le décrire par **un modèle**.

➤ Application

Incorporation de ces lois constitutives dans la modélisation de la mise en forme de l'amidon pomme de terre

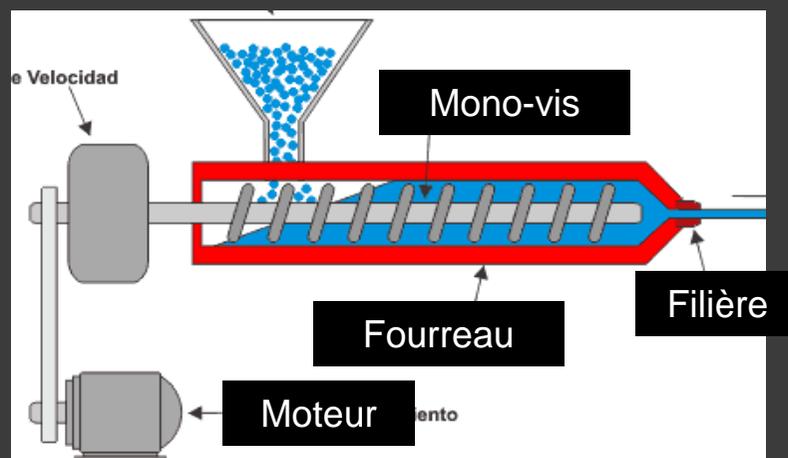
➤ Matériel et méthodologie

1) Préparation



Amidon Pomme de terre
Eau: 26% b.h.

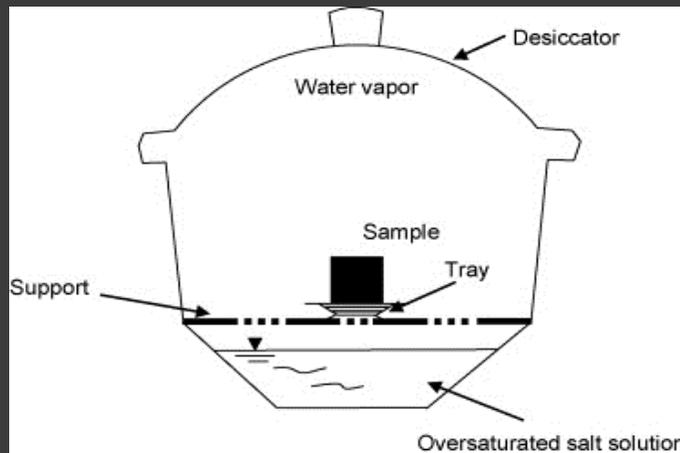
Extrusion
 $T_p = 120^\circ\text{C}$
 $\text{EMS} = 450 \text{ J/g}$



Extrudé dense amorphe

2) Ajustement de la teneur en eau (% RH, 20°C) + Courbe d'étalonnage: $T_g \text{ DSC} = f(\text{teneur en eau})$

Mise à l'équilibre = 4 semaines



Recouvrement des extrudés
par couche fine de graisse
Diminuer la déshydratation
pendant essais de DMA



3) Propriétés viscoélastique linéaire, en $f(T, \text{teneur en eau})$: Essais de DMA (traction-compression $\epsilon = 0,05\%$)

a) Double balayage simultané
en fréquences discrètes et
en température continue
 $\epsilon = 0,05\%$

b) Mesures de la teneur en
eau pendant DMA
(déshydratation)

Analyse de DMA

Donnés brut des modules E' , E''
par balayage simultanée de T ($3^\circ\text{C}/\text{min}$; $20 - 135^\circ\text{C}$)
et f (0.3, 1, 3, 10, 40 Hz)
pour des échantillons avec **différent teneur en eau initiale**
(9.3, 10.6, 12.4, 14.2, 15.2 et 16.3 % bh)

E' et E'' pour T discrète par interpolation
dans intervalle ($25, 90^\circ\text{C}$) avec un pas de 5°C
Pour chaque f ajustée et **teneur en eau initiale**

E' et E'' pour T et f discrète en fonctions de teneur en eau réel

Isothermes $E'(f)$ et $E''(f)$
pour teneurs en eau sélectionnées

Courbes maîtresses $E'(\omega)$ et $E''(\omega)$ et $a_T(T)$
pour $T_{ref}=50^\circ\text{C}$ et teneurs en eau sélectionnées

Ajustement des courbes maîtresses $E'(\omega)$ et $E''(\omega)$ par model de **Maxwell généralisé**

Mesures de la teneur en eau pendant DMA (**déshydratation**)
Teneur en eau = $f(T)$

Module de relaxation $E(t)$
pour t ($10^{-9}, 10^9$ s), $T=50^\circ\text{C}$ et
teneurs en eau 8, 10, 12, 14 et 16% b.h.

Réduction de nombre d'éléments de Maxwell pour l'intervalle t ($10^{-2}, 10^5$ s)
 $T(20, 25, \dots 90^\circ\text{C})$ et
teneurs en eau 8, 10, 12, 14 et 16% b.h.

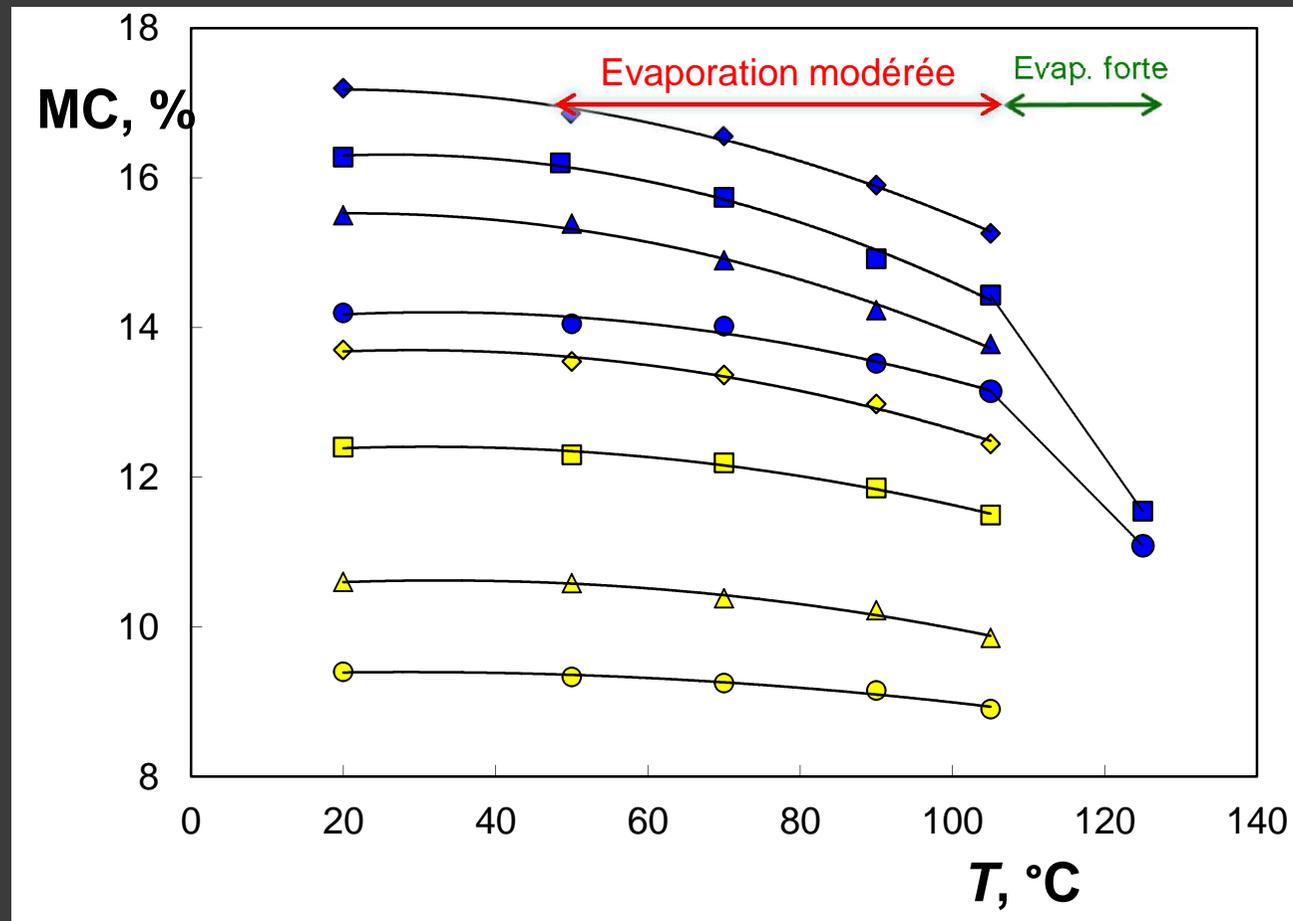
Modules de relaxation $E(t)$ par interpolation
pour n'importe quel temps, température et
teneur en eau dans intervalles définis ci-dessus

Partie 1. Résultats bruts obtenus à teneur en eau variable

- Variation des modules E' et E'' avec fréquence et température
- Teneur en eau en fonction de la température (Déshydratation pendant DMA)

Variation de la teneur en eau de l'amidon pendant l'analyse DMA

Chauffage 3°C / min (20-125°C): Phénomène de déshydratation

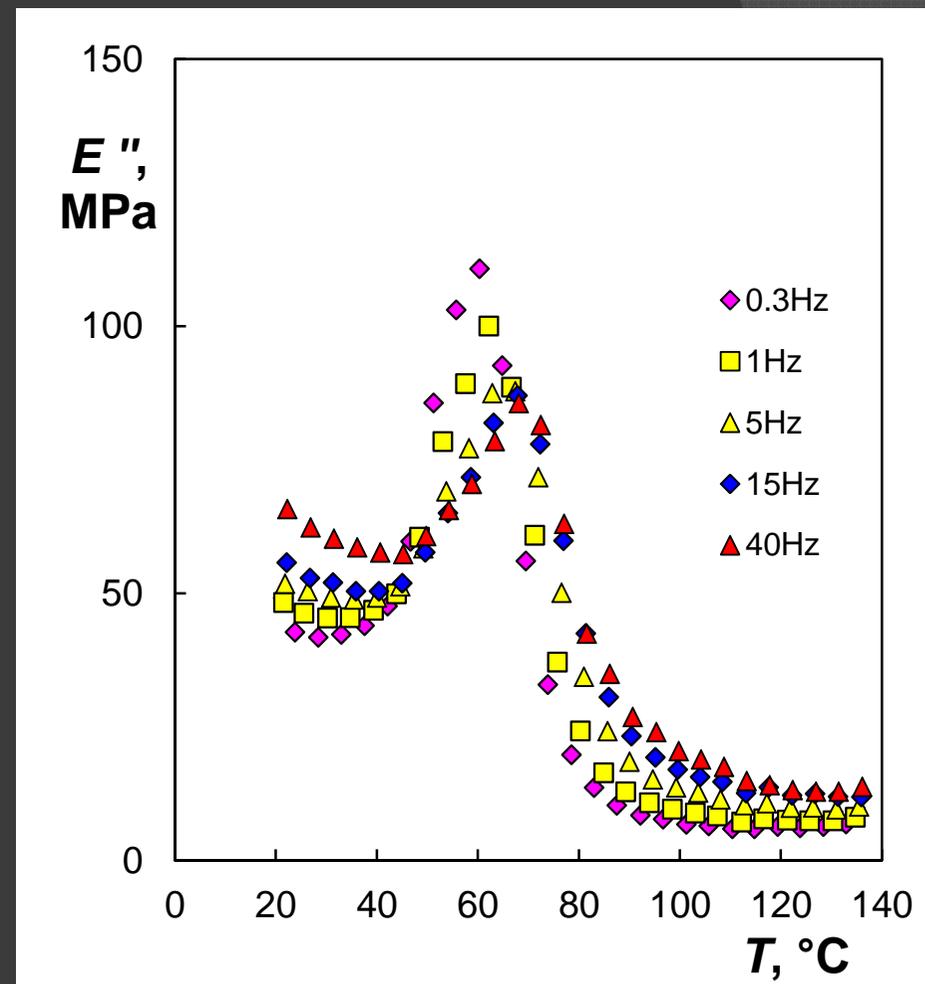
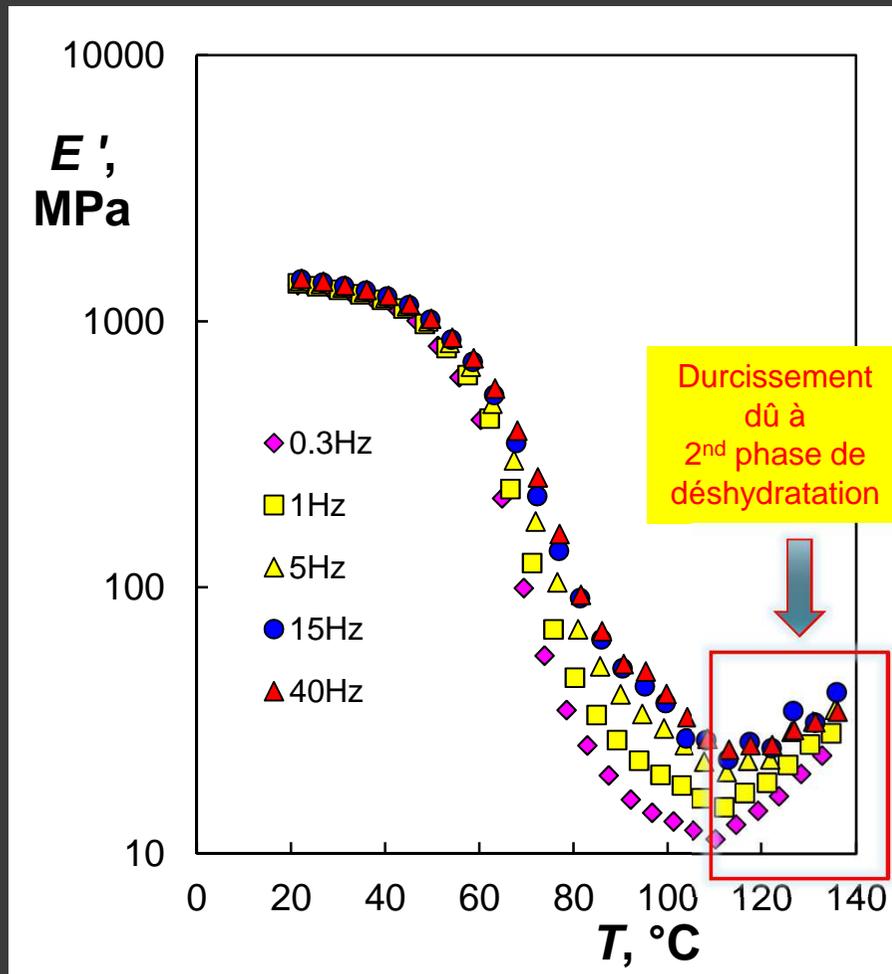


Construction des courbes maîtresses: 25-105°C

Variation des modules E' et E'' avec T et f

de l'amidon pomme de terre amorphe avec teneur en eau initiale 15.5%

Température de transition vitreuse T_g (DSC) = 65.6 °C



Le comportement devient plus solide si la fréquence augmente

Partie 2.

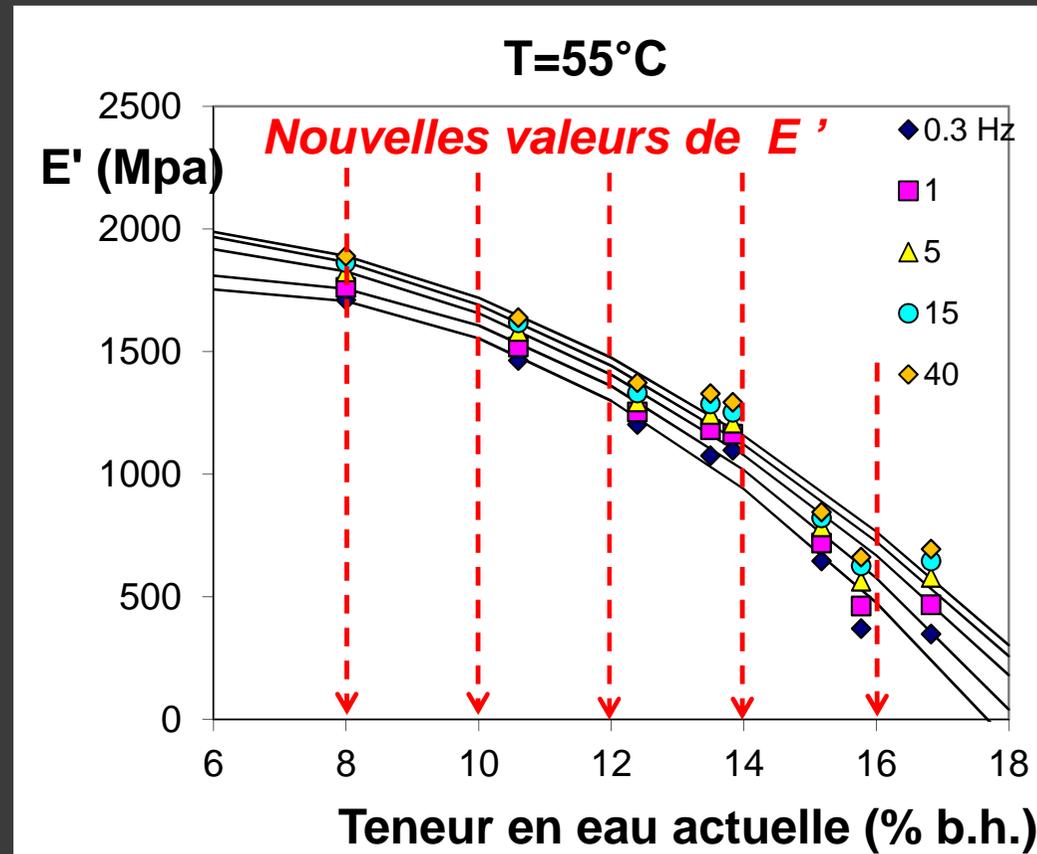
Construction de la cartographie

$$E' \text{ et } E'' = f(T, f, \text{teneur eau réelle})$$

Objectif: Obtenir des courbes **isothermes** $E'(f)$ et $E''(f)$ pour chaque teneur en eau sélectionnée

Courbes E' et $E'' = f$ (teneur en eau réelle) à $T = 55^\circ\text{C}$ isothermes aux différentes fréquences

- Ajustement des courbes

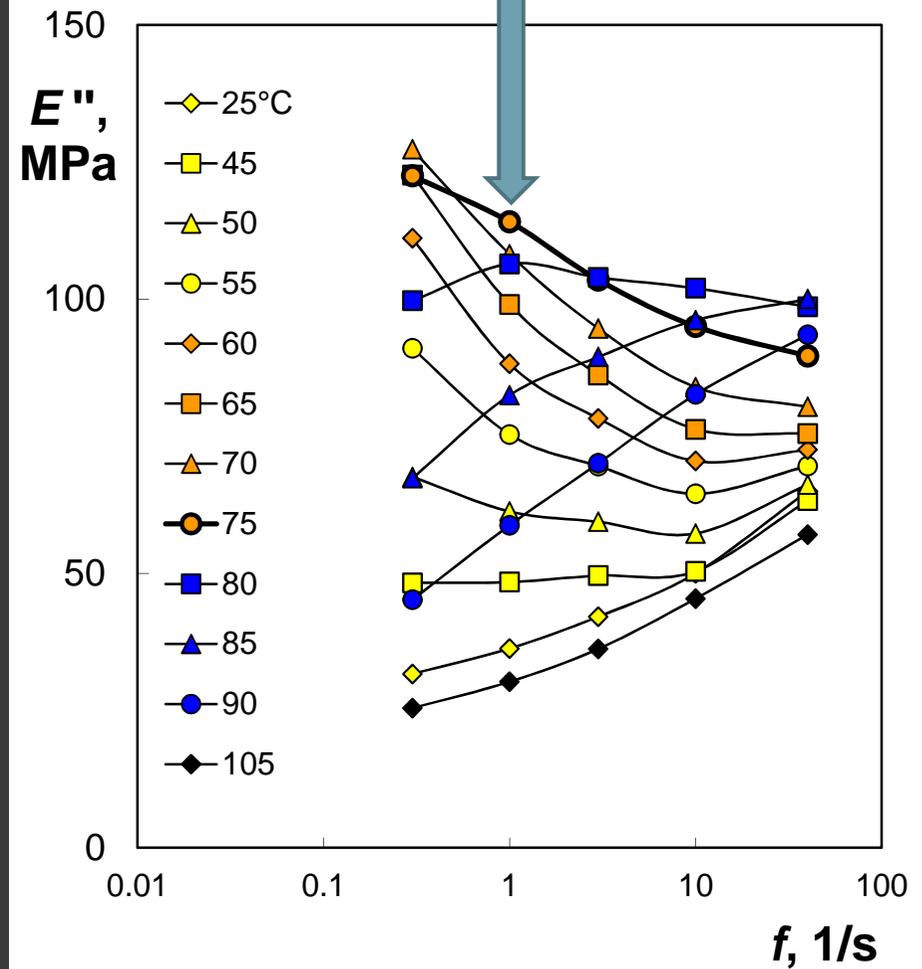
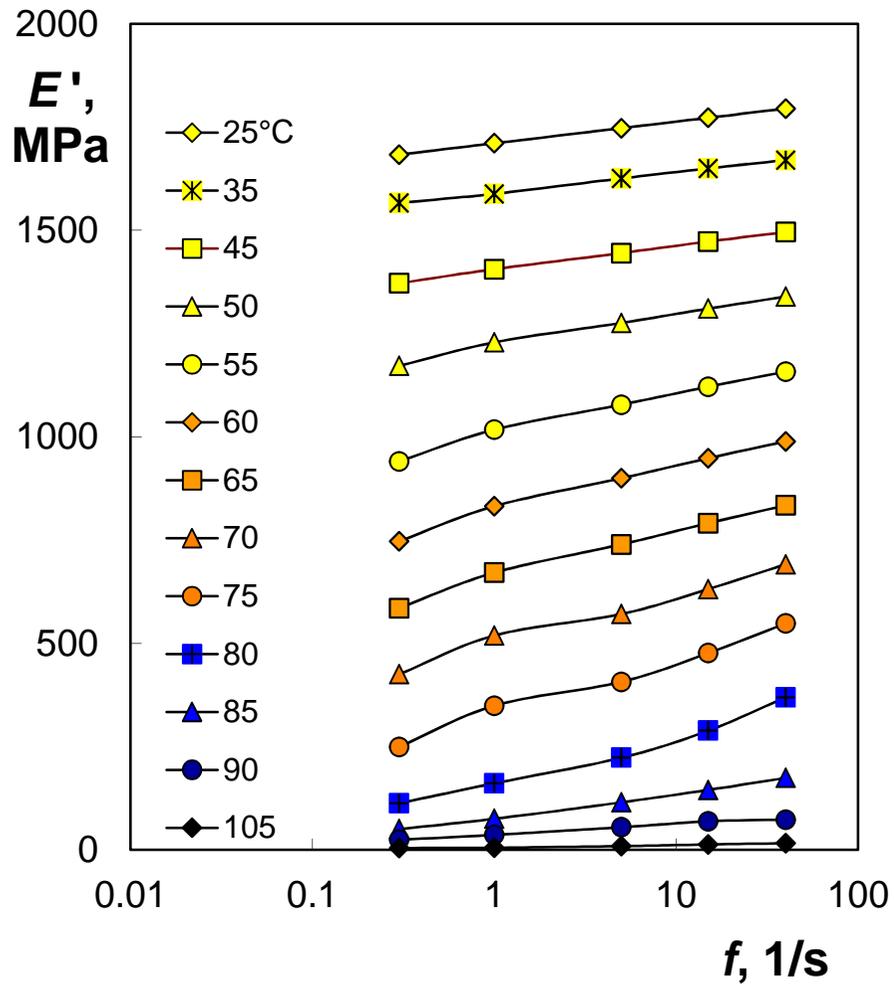


Courbes isothermes $E'(f)$ et $E''(f)$
pour chaque teneur en eau sélectionnée
8, 10, 12, 14, 16 % b.h.

Courbes isothermes $E'(f)$ et $E''(f)$

Teneur en Eau = 14%,

$T_g = 76^\circ\text{C}$



A $f = 1$ Hz, la température du E'' max (75°C) $\sim T_g$ DSC (76°C)

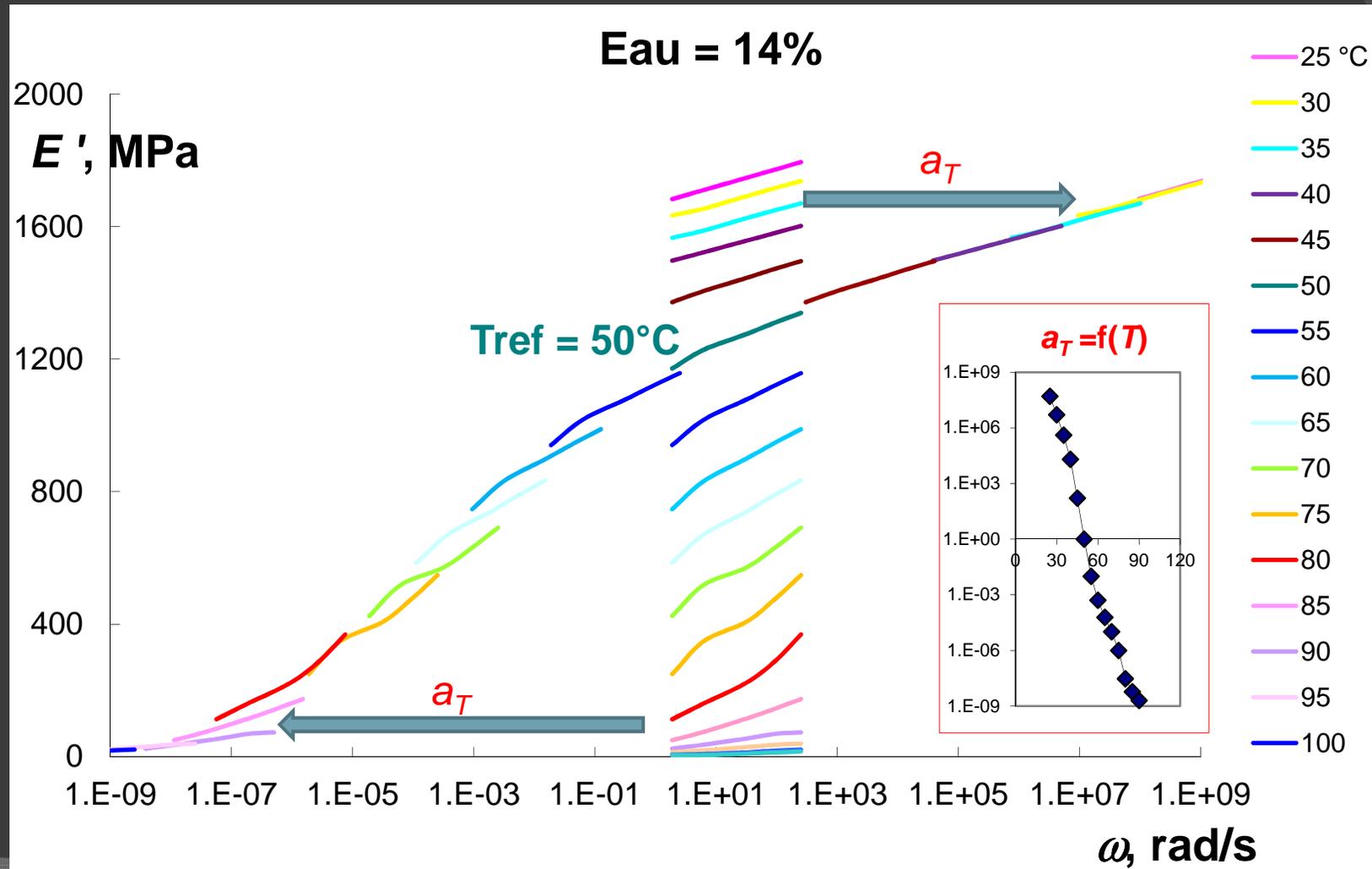
Partie 3.

Construction des courbes maîtresses $E'(\omega)$
et $E''(\omega)$ à $T_{ref} = 50^\circ\text{C}$

pour chaque teneur en eau sélectionnée

Construction des courbes maîtresses $E'(\omega)$ et $E''(\omega)$ en utilisant Principe d'Equivalence Temps - Température (TTS)

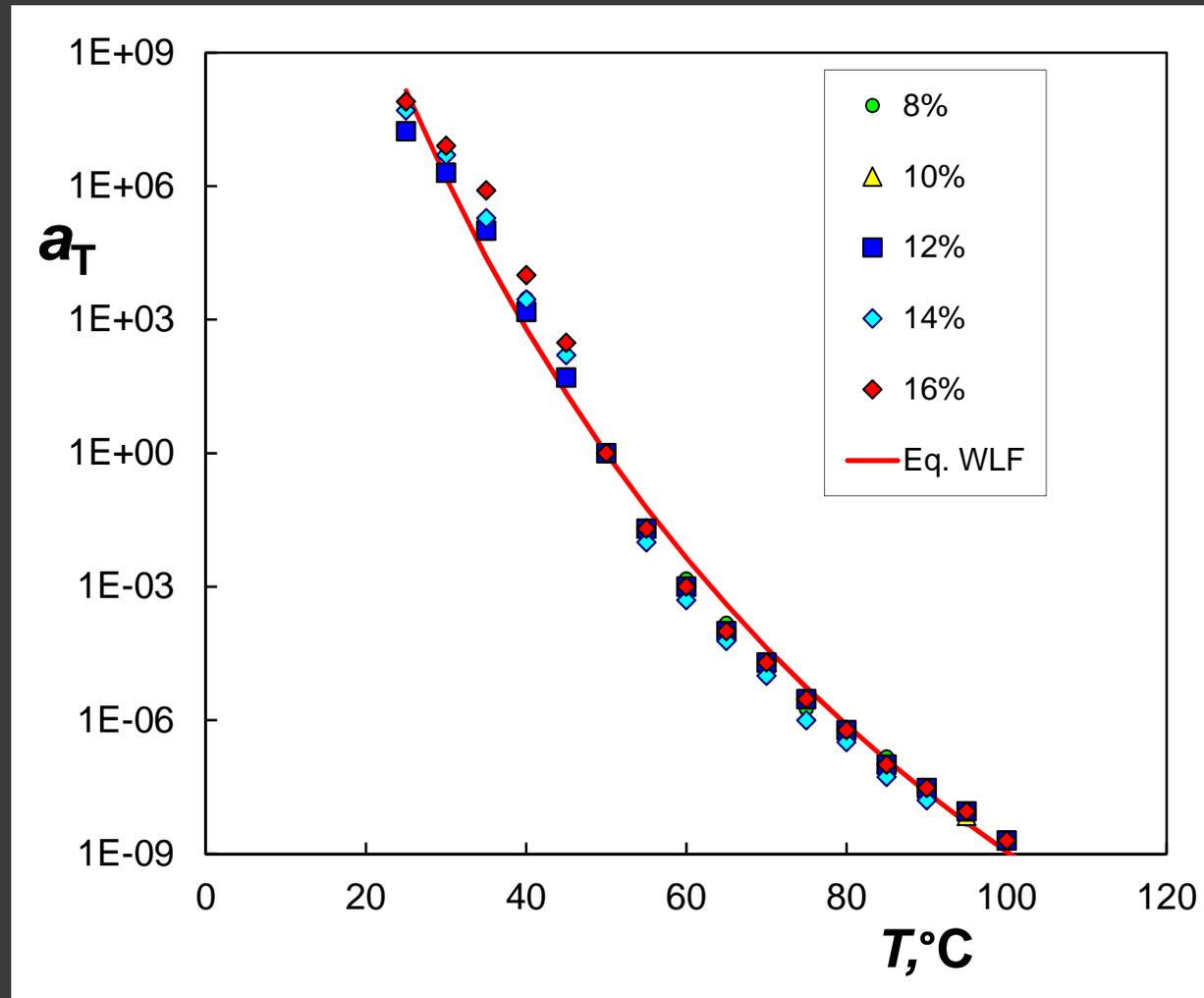
Décalage manuel des courbes isothermes sur axe ω selon facteur $a_T(T)$ autour la courbe de $T_{ref} = 50^\circ\text{C}$



$a_T = f(T)$ pour chaque teneur en eau

Ajustement a_T par Equation de Williams-Landel- Ferry (WLF)

$$\log a_T = \frac{-c_1(T - T_{ref})}{c_2 + (T - T_{ref})}$$



Pour $T_{ref} = 50^\circ\text{C}$:

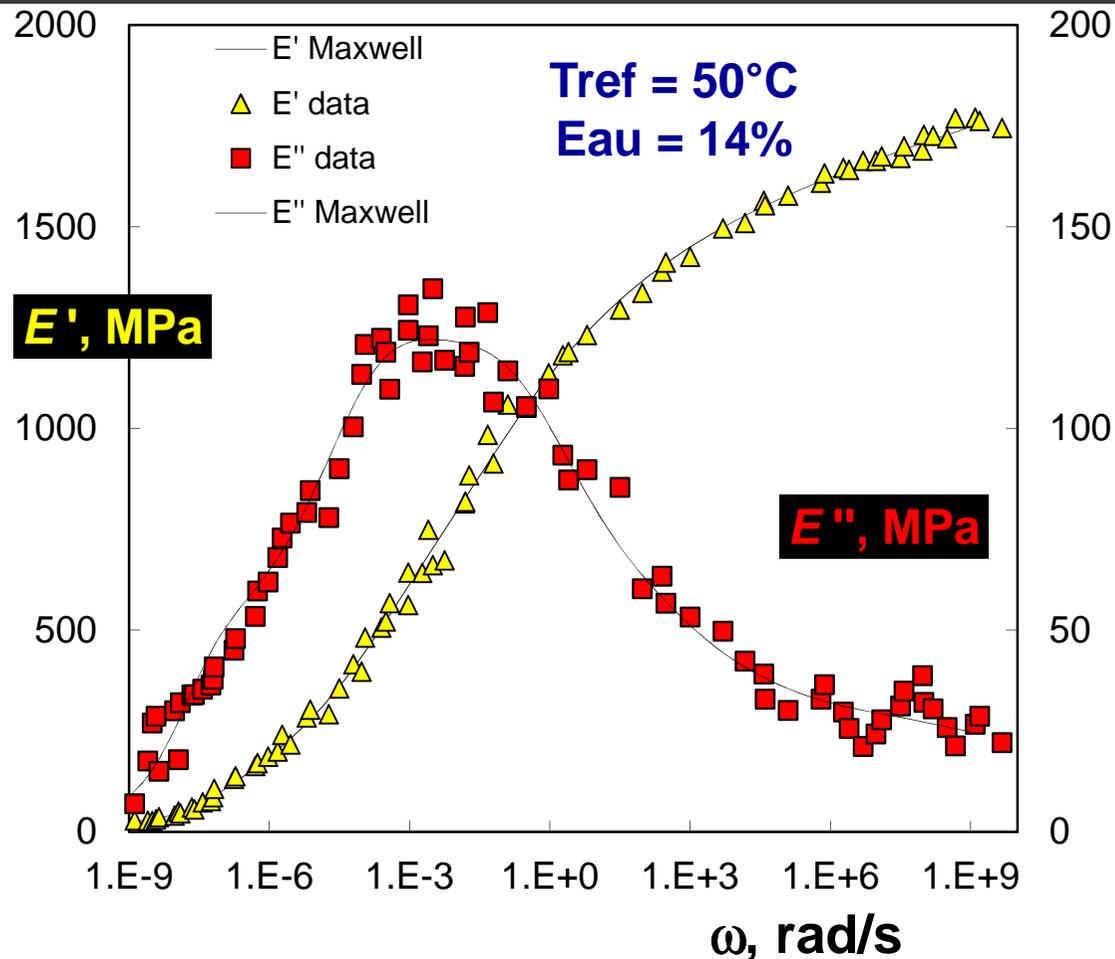
$$c_1 = 29.84$$

$$c_2 = 116.61$$

Partie 4:
Ajustement des courbes maîtresses
 $E'(\omega)$ et $E''(\omega)$ par
modèle de Maxwell généralisé

$$E'(\omega) = E_0 + \sum_{i=1}^N E_i \frac{(\tau_i \omega)^2}{1 + (\tau_i \omega)^2}$$

$$E''(\omega) = \sum_{i=1}^N E_i \frac{(\tau_i \omega)}{1 + (\tau_i \omega)^2}$$

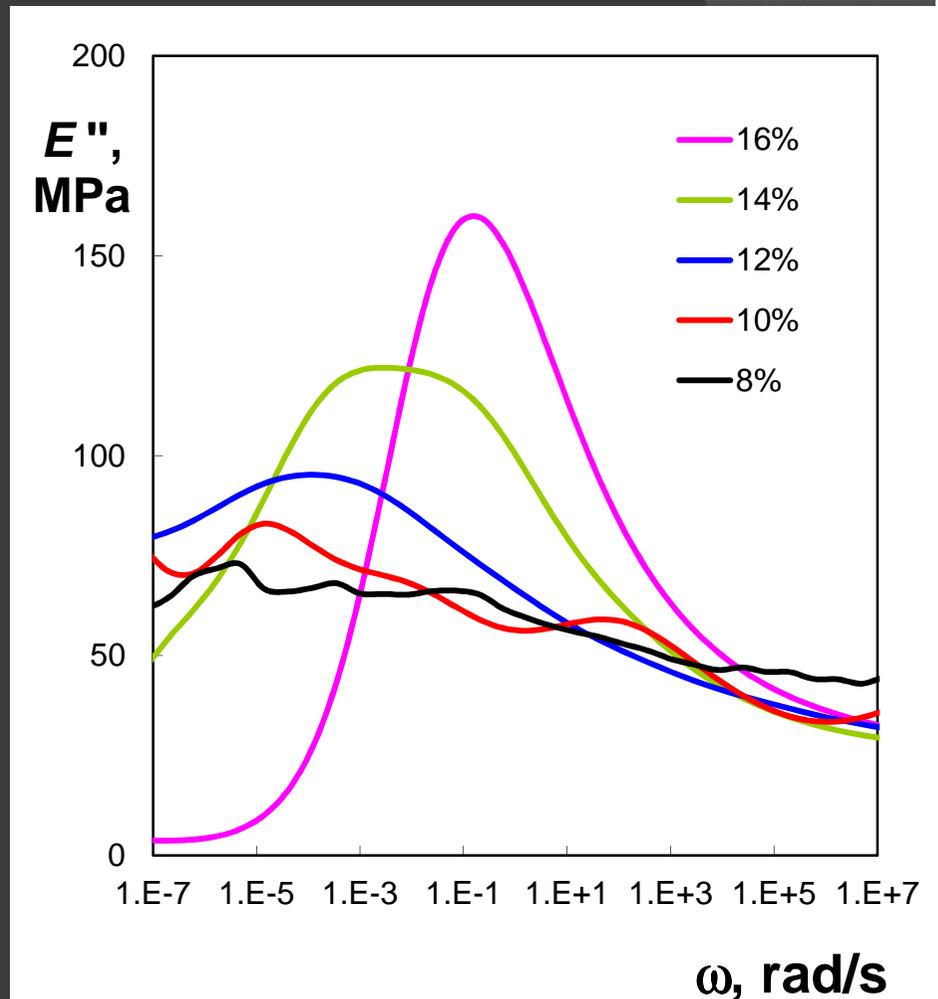
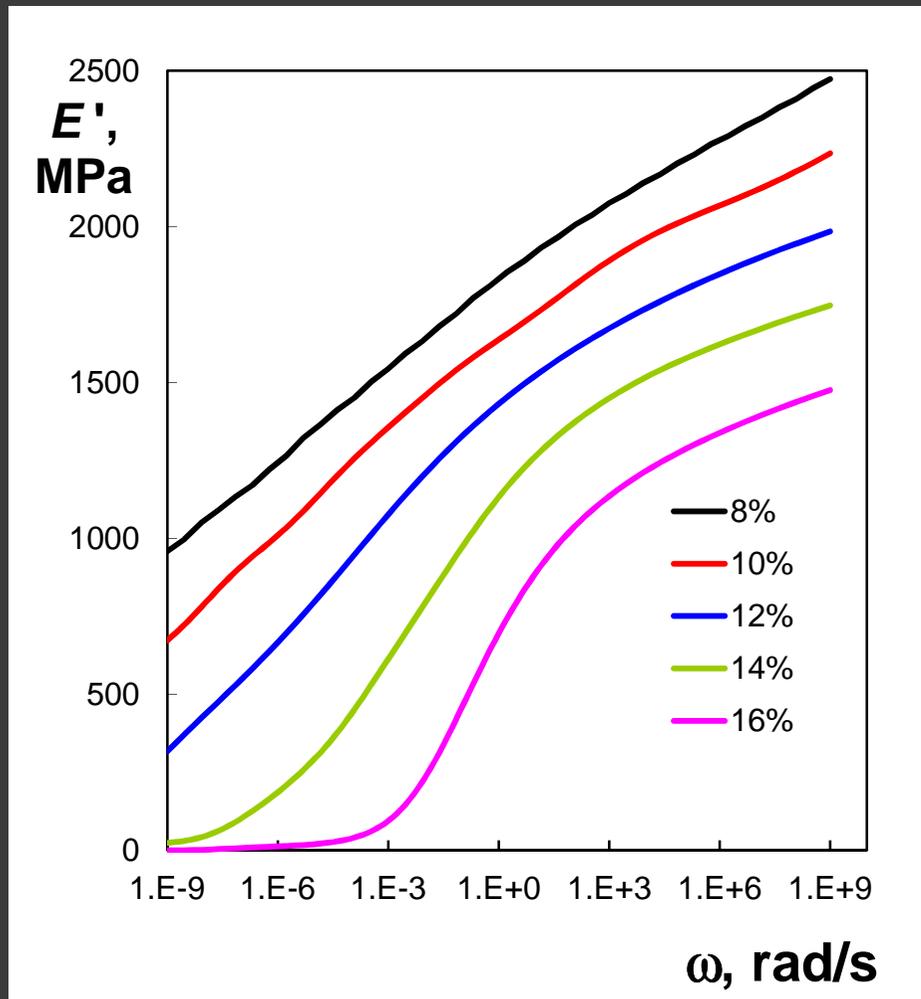


Ajustement à l'aide de la méthode de régularisation



N=19 éléments de Maxwell (E_0 , E_i et τ_i)

$E'(\omega)$ et $E''(\omega)$ à $T_{ref}=50^{\circ}\text{C}$ pour différents teneurs en eau



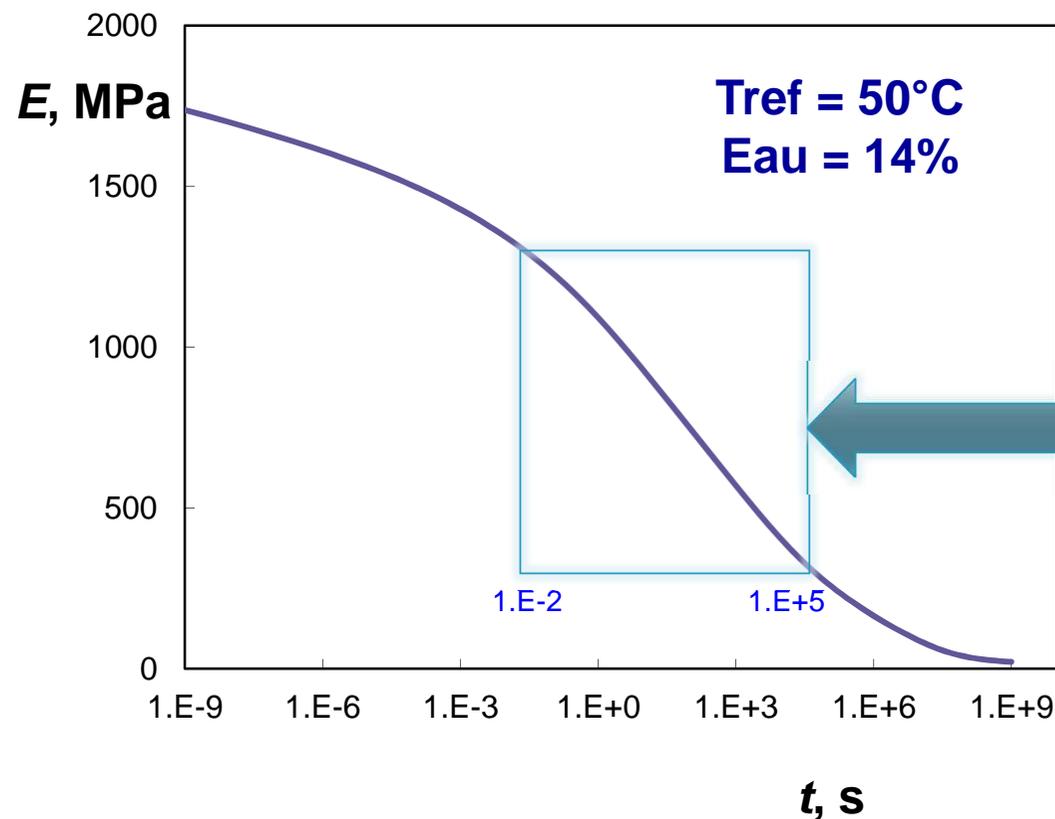
La fréquence angulaire de maxima E'' augmente avec la teneur en eau
donc, le temps de relaxation diminue avec la teneur en eau

Module de relaxation $E(t)$

$$E'(\omega) = E_0 + \sum_{i=1}^N E_i \frac{(\tau_i \omega)^2}{1 + (\tau_i \omega)^2}$$
$$E''(\omega) = \sum_{i=1}^N E_i \frac{(\tau_i \omega)}{1 + (\tau_i \omega)^2}$$

Méthode de
l'inter-conversion

$$E(t) = E_0 + \sum_{i=1}^N E_i \exp(-t / \tau_i)$$

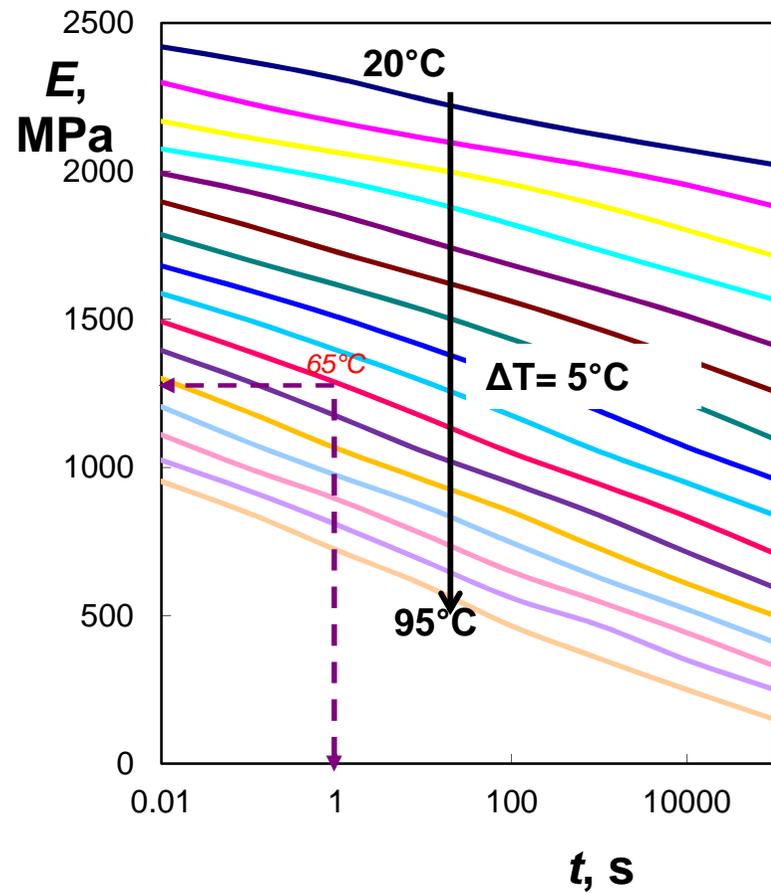


Réduction de nombre
d'éléments de Maxwell
pour l'intervalle t
(10^{-2} , 10^5 s)

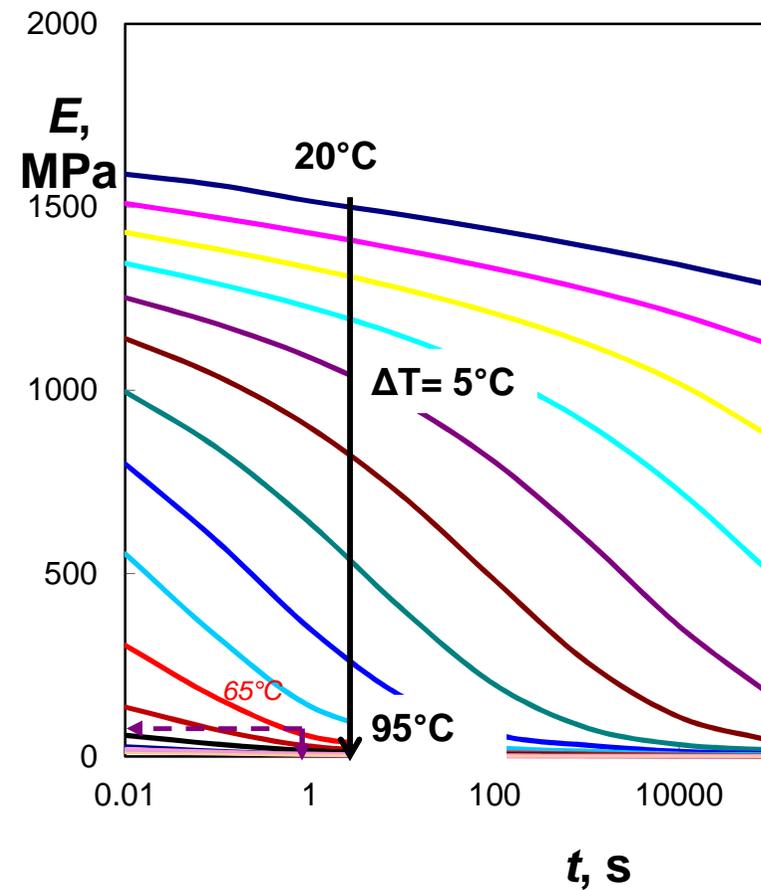
Isothermes $E(t)$

$$E(t_T) = E(t_R a_T)$$

Teneur en eau = 8%



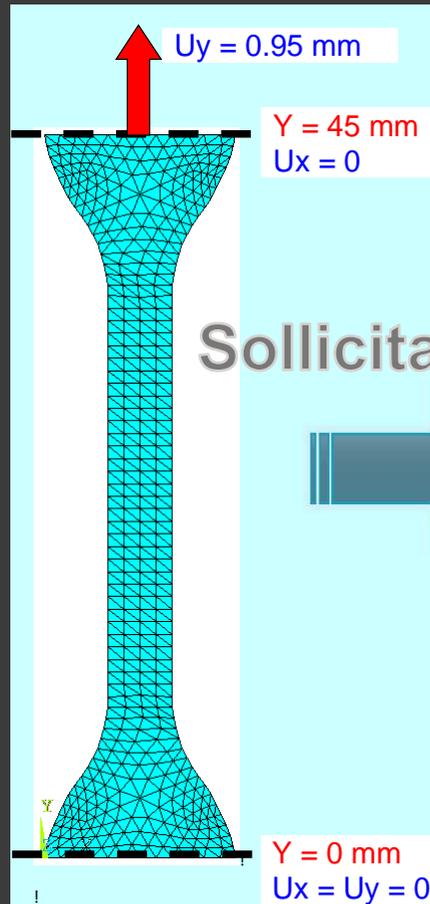
Teneur en eau = 16%



Conclusions

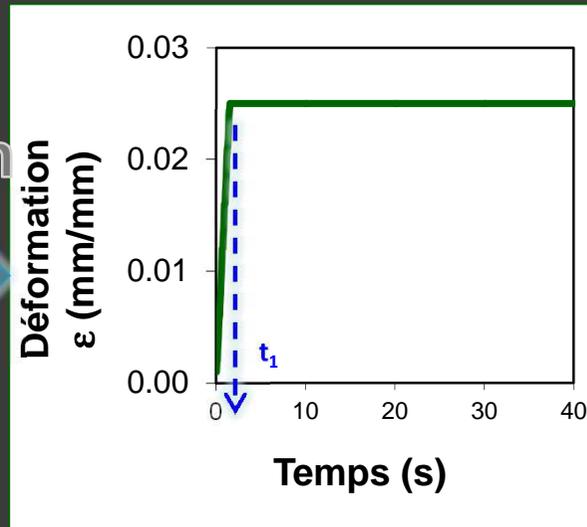
- E' et E'' de l'amidon amorphe ont été déterminés par DMA en mode de tension-compression dans un large intervalle de fréquences en fonction de la température pour différents teneurs en eau.
- Le comportement viscoélastique linéaire a été modélisé par le modèle de Maxwell généralisé en utilisant le principe d'équivalence temps-température (TTS)
- Le module de relaxation $E(t)$ a été obtenu en fonction de la température et de la teneur en eau.

Perspective: Modélisation de la mise en forme: Traction (T, Eau) par méthode d'éléments finis



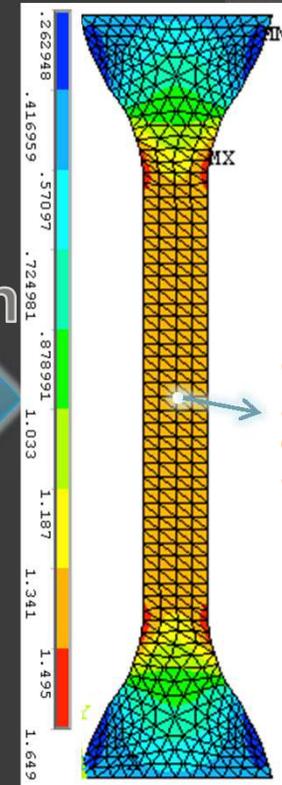
Sollicitation

Incorporation du modèle de Maxwell dans le code d'ANSYS



2) Déformation = f(temps)

Solution



1) Géométrie, Maillage et Conditions aux limites (Déplacements)

3) Champs des contraintes σ_y (Phase finale de Traction)

Merci de

votre

attention