

Caractérisation des propriétés mécaniques d'une pâte à fromage

YANNICK LARIDON^{1,2}

¹ Cemagref, unité TERE, équipe IRMFood, 17 avenue de Cucillé, 35044 Rennes Cedex, France

² Master mécanique et sciences pour l'ingénieur, spécialité modélisation et calcul scientifique. Université de Rennes 1, France.

L'objectif à terme est de caractériser les interactions entre les différents mécanismes impliqués dans la croissance d'ouvertures (trous). Cette première étape de caractérisation va permettre de choisir un modèle mécanique avant de s'intéresser aux autres phénomènes impliqués. Le modèle choisi est discuté, et les manipulations de validation sont présentées.

Méthodes

Le fromage subit un test de compression-relaxation sur un texturomètre MCR. Les données de force de compression et de déplacement sont recueillies et traitées pour déterminer les paramètres mécaniques du fromage. Le test de compression-relaxation est ensuite reproduit numériquement. L'outil de simulation utilisé est COMSOL Multiphysics. Les paramètres du modèle sont ajustés grâce aux données expérimentales. Une estimation des paramètres mécaniques au cours de l'affinage est ensuite réalisée.

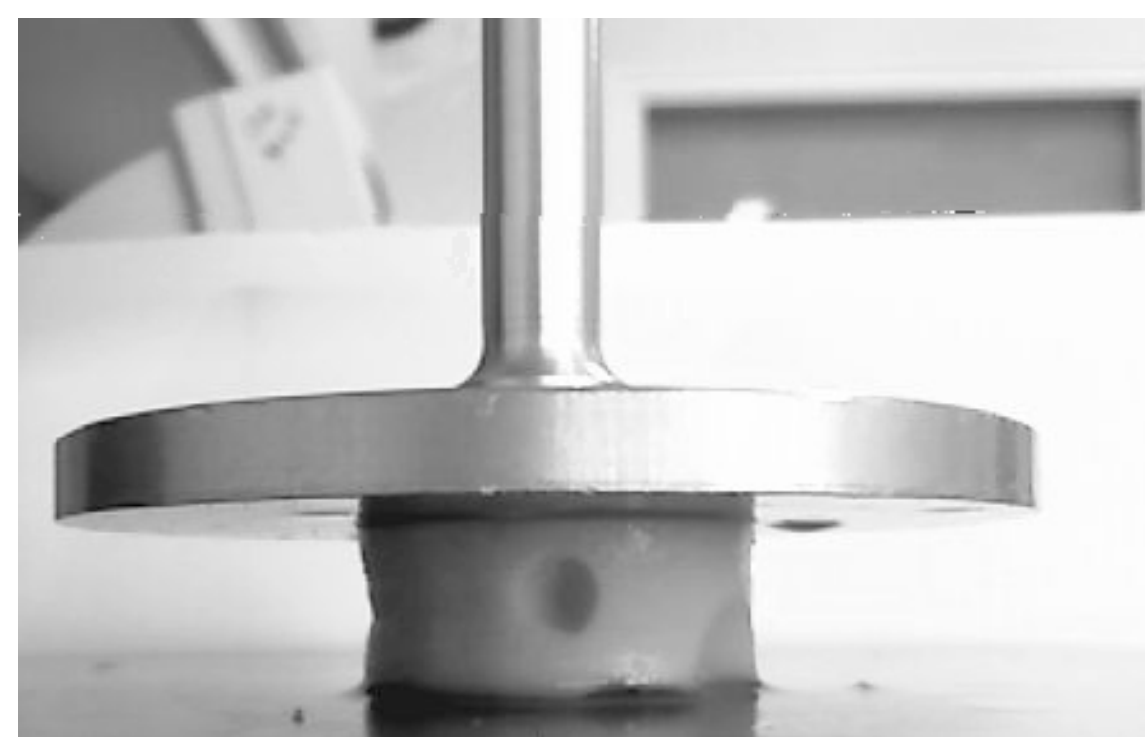


FIG. 1 - Dispositif expérimental

Modèle

Le problème est envisagé comme un problème quasi-statique. Les faibles champs de vitesse et d'accélération impliqués nous permettent de négliger les effets inertiels et convectifs. Au regard des contraintes appliquées sur les échantillons de fromage, le poids a été négligé. Ainsi la loi d'équilibre s'écrit

$$\vec{\nabla} \cdot (\bar{\tau} - p\bar{I}) = \vec{0}$$

où $\bar{\tau}$ représente les contraintes viscoélastiques, p la pression et \bar{I} l'identité. Les contraintes viscoélastiques sont calculées à l'aide d'un modèle de Maxwell généralisé à trois branches. Ce modèle simple permet d'inclure l'historique des déformations subies par le matériau. Il s'agit d'une superposition en parallèle

de associations ressort-amortisseur en série. Les contraintes viscoélastiques s'expriment alors :

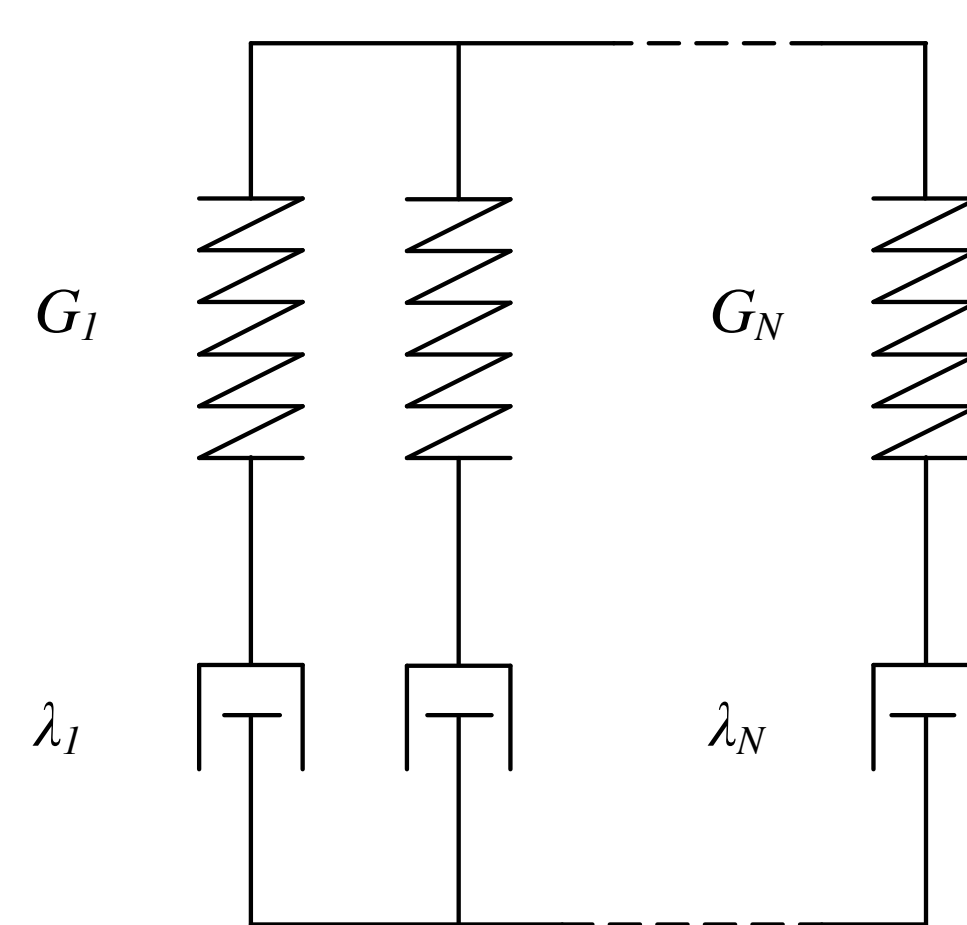


FIG. 2- Modèle de Maxwell

d'associations ressort-amortisseur en série. Les contraintes viscoélastiques s'expriment alors :

$$\bar{\tau} = - \int_{-\infty}^t G(t-t_i) \dot{\bar{\gamma}}(t_i) dt_i$$

Résultats

Une étude paramétrique a permis de dégager l'influence des paramètres sur les contraintes au sein du fromage, comme montré en FIG. 3.

En plus d'une étude de sensibilité, nous avons dégagé l'évolution des paramètres au cours de l'affinage. Les paramètres ont tous tendance à diminuer à mesure que la maturation du fromage

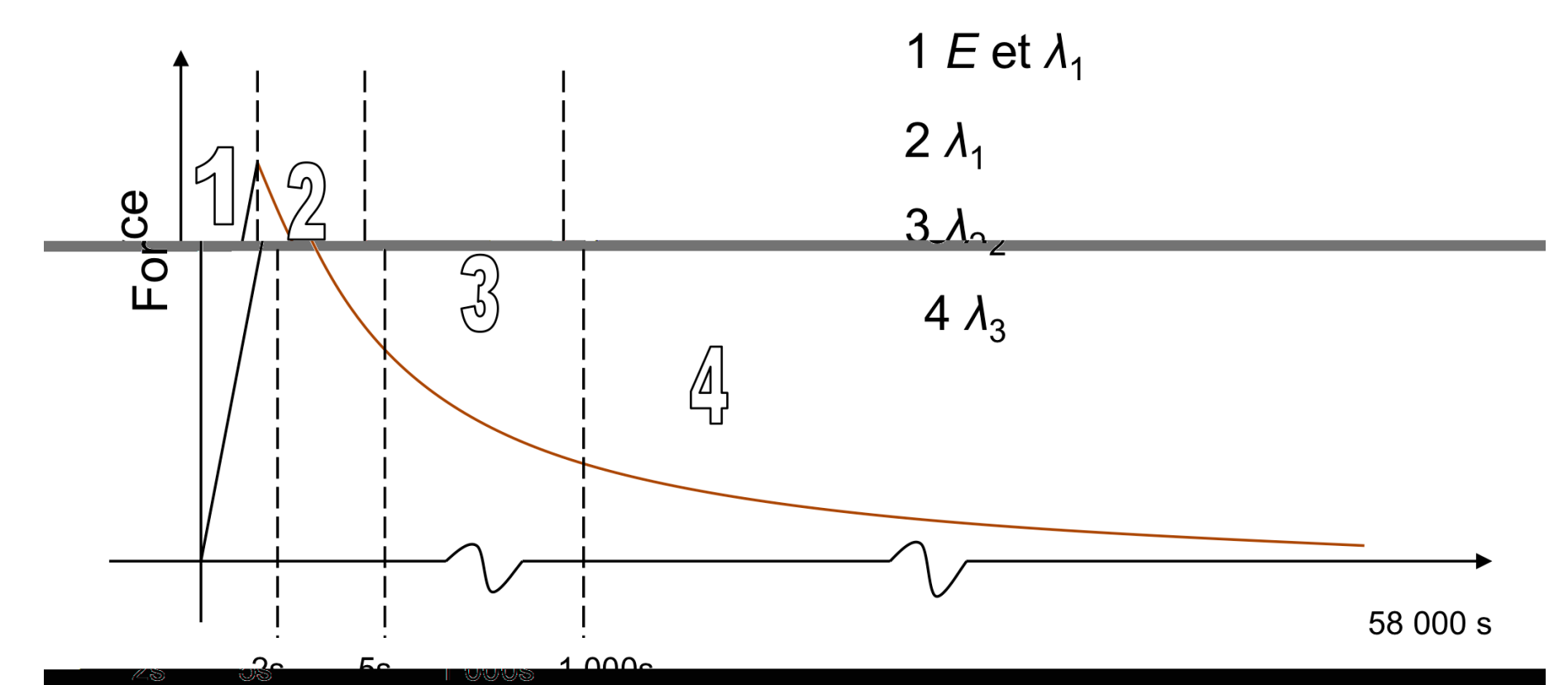


FIG. 3- Zones d'influence des paramètres

progressive.

Paramètre	Fin de cave froide	Fin de cave chaude
E (kPa)	210	90
λ_1 (s)	3,5	2
λ_2 (s)	350	50
λ_3 (ks)	14	2

Le tableau ci-dessus permet de se rendre compte de telles évolutions. Les diminutions sont dues à la fois au changement de température et à l'affinage.

Conclusions

Cette étude a permis de dégager le comportement de notre modèle vis-à-vis des variations des paramètres mécaniques du fromage. Des ajustements de données expérimentales ont permis la détermination de l'évolution de ces paramètres au cours de l'affinage. Ce comportement demandera à être évalué de façon plus précise en améliorant le procédé d'ajustement en passant d'une méthode par essai-erreur à un algorithme d'optimisation. Cette étude permet donc de débiter la phase de simulation de croissance de bulle.