



**HAL**  
open science

## Simulation numérique de l'élastographie transitoire non-linéaire

W Ye, A. Bel-Brunon, S Catheline, M Rochette, A. Combescure

► **To cite this version:**

W Ye, A. Bel-Brunon, S Catheline, M Rochette, A. Combescure. Simulation numérique de l'élastographie transitoire non-linéaire. Recherche en Imagerie et Technologies pour la Santé, Mar 2017, Lyon, France. hal-01864256

**HAL Id: hal-01864256**

**<https://hal.science/hal-01864256>**

Submitted on 29 Aug 2018

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

# SIMULATION NUMERIQUE DE L'ELASTOGRAPHIE TRANSITOIRE NON-LINEAIRE

W. Ye (1,3), A. Bel-Brunon (1), S. Catheline (2), M. Rochette (3), A. Combescure (1)

1. LaMCoS UMR5259, INSA Lyon, Villeurbanne; 2. LabTau UMR1032, INSERM, Lyon; 3. ANSYS, Villeurbanne

## Introduction

L'élastographie transitoire est une méthode permettant la caractérisation des tissus biologiques *in-vivo* à partir de la vitesse de propagation des ondes de cisaillement. L'onde incidente générant des déformations d'amplitude faible, cette technique a permis jusqu'à présent la caractérisation des propriétés élastiques linéaires des tissus, utiles en particulier pour le diagnostic. La détermination de propriétés élastiques non-linéaires a fait récemment l'objet de travaux expérimentaux sur fantôme et de modélisation analytique, mais ceux-ci s'appuient sur des hypothèses fortes en termes de géométrie et de type d'ondes propagées, ce qui rend difficile leur application *in-vivo*. L'objectif de notre travail est de développer une méthode de simulation numérique par Eléments Finis de la propagation d'ondes non-linéaires dans un tissu mou et d'évaluer l'identifiabilité des paramètres non-linéaires de la loi de comportement.

## Méthodes

En acoustique non-linéaire, l'élasticité non-linéaire est représentée par la loi de Landau [1], dont la composante déviatorique s'écrit :

$$W^{dev} = \mu I_2 + \frac{A}{3} I_3 + D I_2^2 \quad (2)$$

avec  $I_k$  les invariants du tenseur des déformations de Green-Lagrange et  $\mu$ ,  $A$  et  $D$  les paramètres matériaux. La modélisation de la viscoélasticité du tissu est réalisée à l'aide du modèle de Voigt en grandes déformations. La loi viscoélastique non-linéaire obtenue est implémentée dans un code FORTRAN maison. Le modèle numérique [2] de propagation d'onde plane est constitué d'un solide de 4800 éléments soumis à une onde de cisaillement de fréquence  $f$  à droite et formulé en déformation plane (Fig. 1).

## Résultats

En mesurant la vitesse verticale à une profondeur donnée, on observe une distorsion de l'onde par rapport à l'onde incidente. Cette distorsion apparaît dans le spectre sous forme d'harmoniques à  $3f$  et  $5f$ , représentatives de la non-linéarité (Fig. 2). Le spectre obtenu par la simulation correspond très bien à celui obtenu expérimentalement [3]. Les résultats numériques sont comparés à la formule analytique donnant l'amplitude des harmoniques à  $3f$  et  $5f$  en fonction de la profondeur, donnée par [4] et valable pour les faibles non-linéarités. On montre que la simulation permet d'étendre cette formule analytique au cas de grandes non-linéarités. La mesure de l'amplitude des

harmoniques permet alors de déterminer la valeur du coefficient non linéaire  $\gamma = \mu + A/2 + D$ . Un seul essai en ondes planes permet donc d'identifier deux des trois paramètres du potentiel  $W^{dev}$  :  $\mu$  par la mesure de la vitesse de l'onde de cisaillement et  $(A, D)$  par le spectre de celle-ci.

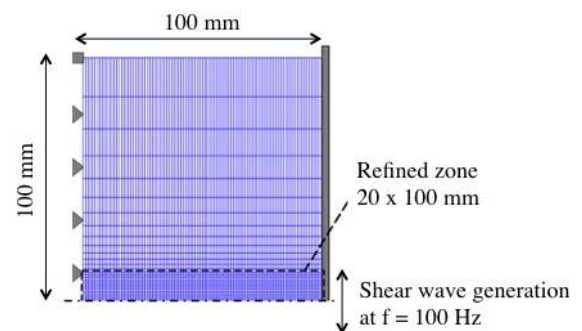


Figure 1: Modèle numérique de propagation d'une onde plane.

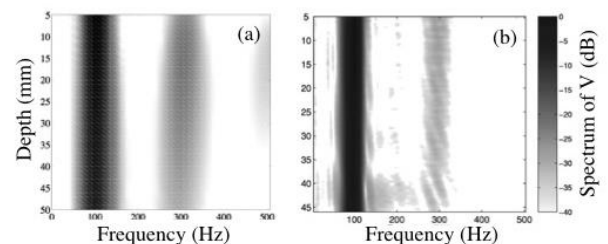


Figure 2: Vitesse verticale à une profondeur de 20 mm. (a) par simulation – (b) expérimentalement [3].

## Conclusion

Le modèle numérique présenté permet la simulation de la propagation des ondes dans un tissu biologique et améliore l'exploitation des mesures en élastographie transitoire. Elle élargit le domaine d'application aux plus grandes non-linéarités. L'application de cette méthode à des essais aux conditions aux limites moins contraignantes que l'onde plane est directe.

## Références

1. Landau et al. 1986. [SEP]
2. Ye et al. Int J Num Meth Eng, 2016.
3. Jacob et al. J Acoust Soc Am, 122(4):1917–1926, 2007. [SEP]
4. Zabolotskaya et al. J Acoust Soc Am. 116(5):2807–2813, 2004. [SEP]

## Remerciements

Ce travail a été financé par ANSYS France.