

# Imagerie médicale par élastographie (ACINIM-IMEG)



JÉRÔME FEHRENBACH, MOHAMED MASMOUDI



## ÉLASTOGRAPHIE (J.Ophir, 1991)

Les cancers du sein et de la prostate ne sont pas détectables par les modalités d'imagerie classiques (rayons X, ultrasons, IRM) mais peuvent être de 4 à 10 fois plus rigides que les tissus sains environnants. On peut améliorer le diagnostic si on dispose d'une technique (plus fiable que la palpation) permettant de détecter les tissus plus rigides. L'élastographie (statique) permet de déterminer le déplacement de chaque point d'un tissu soumis à une compression quasi-statique.

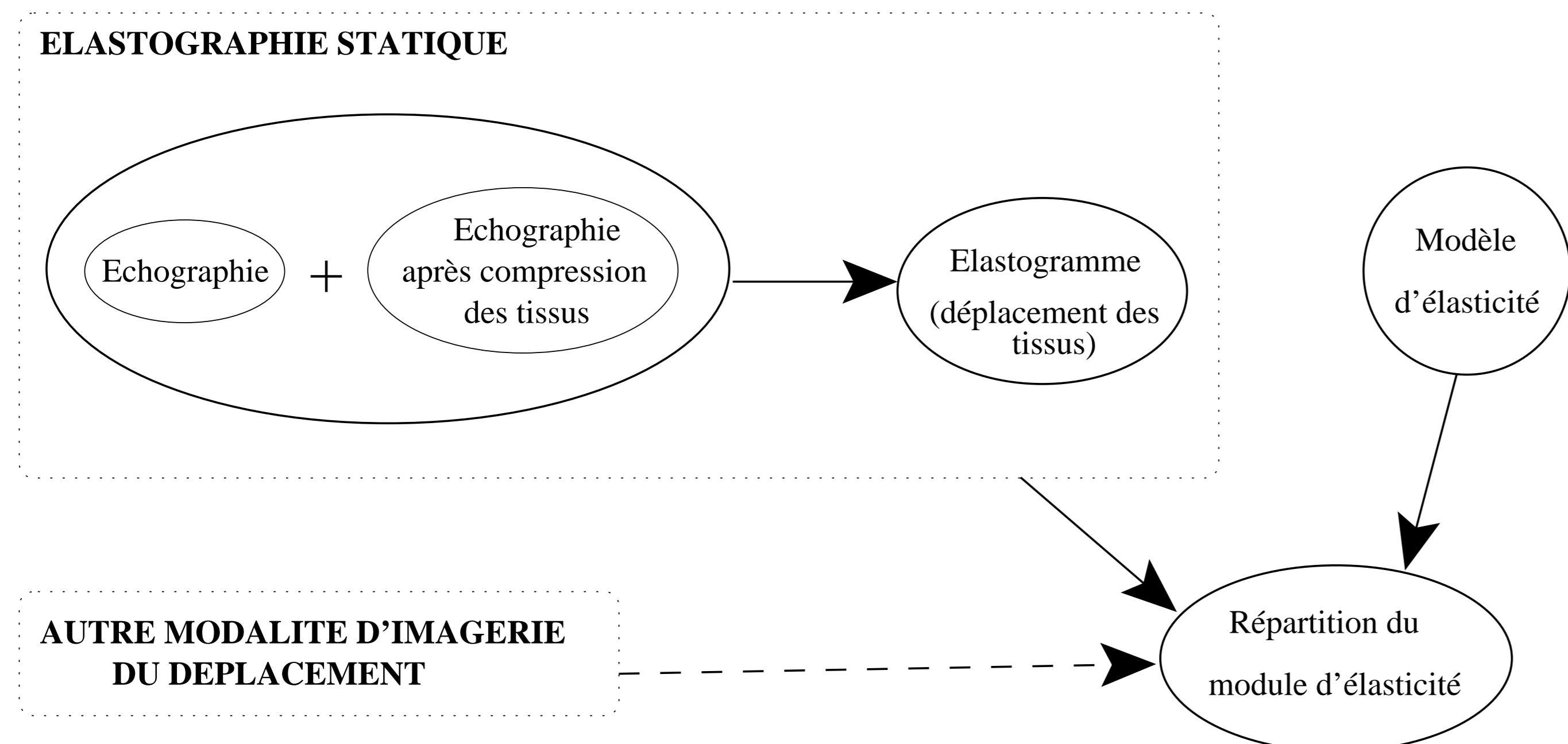


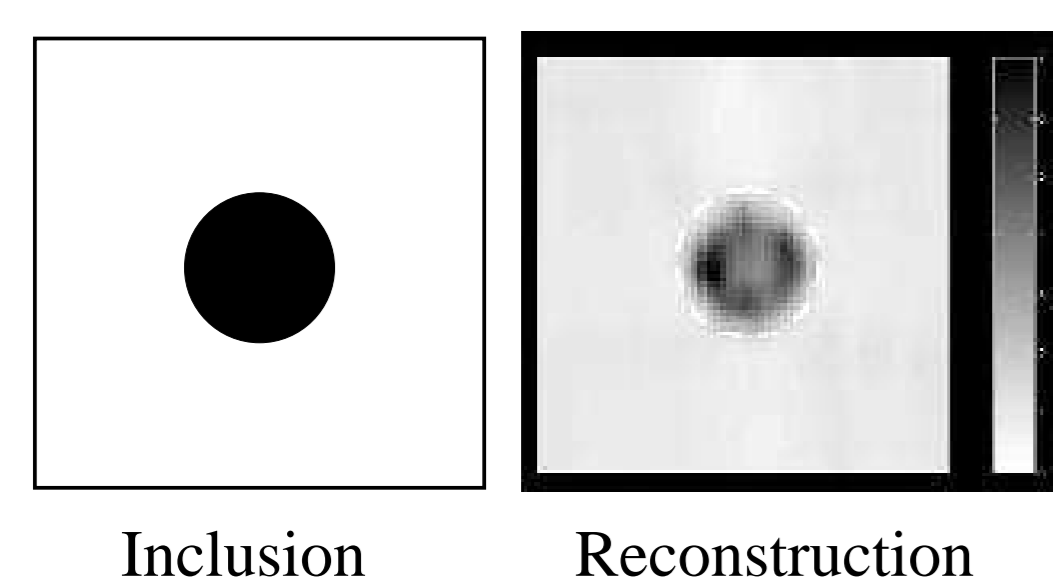
Figure 1. Les mesures permettent de construire un élastogramme ; le couplage de modèle et données permet de retrouver les inclusions rigides

Nous présentons ici une méthode pour évaluer quantitativement le rapport de module d'Young entre une inclusion et le milieu environnant, à partir d'un élastogramme. Nous montrons également les résultats obtenus en appliquant cette méthode à des données expérimentales.

## COMPARAISON AVEC L'ÉTAT DE L'ART

Nous présentons ici des résultats obtenus lors d'expériences numériques (données synthétiques).

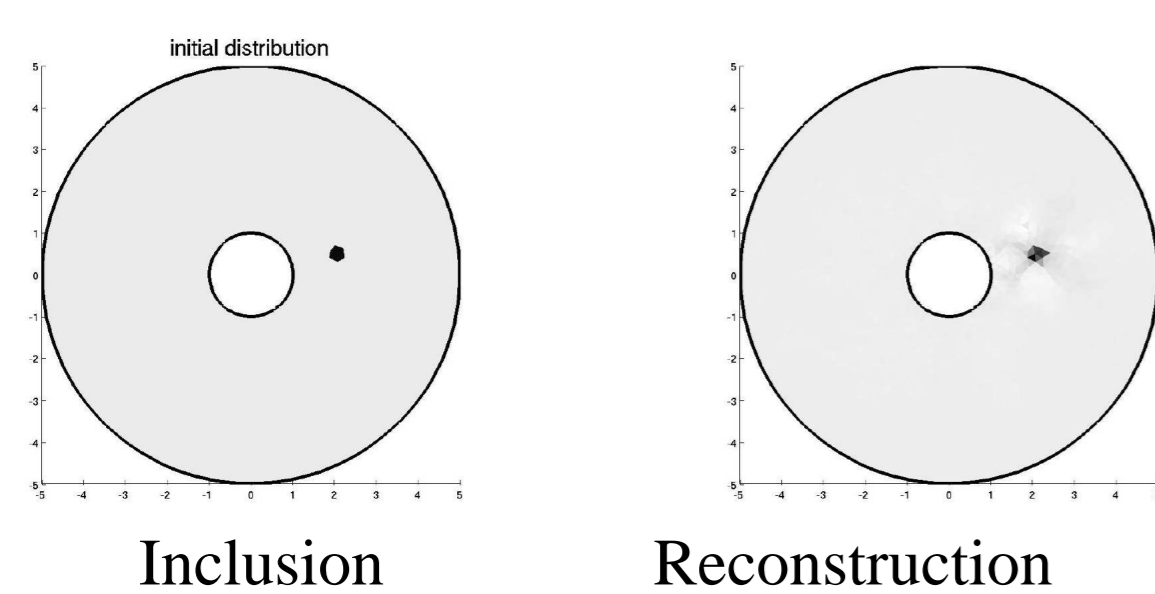
Etat de l'art (Doyley *et al.* 2005) :



**Matériel :** un cluster de 12 PC.  
**Outils mathématiques :**

- calcul et stockage de la jacobienne. Il faut donc résoudre autant de problèmes directs que de points de mesure, ou autant de problèmes adjoints que d'inconnues.

Notre méthode :



**Matériel :** un ordinateur de bureau.  
**Outils mathématiques :**

- utilisation de la différentiation algorithmique. On ne calcule pas la jacobienne.
- on multiplie la jacobienne par un vecteur (dérivation en mode direct),
- on multiplie la transposée de la jacobienne par un vecteur (dérivation en mode adjoint).
- régularisation BV.

## L'EXPÉRIENCE DU FANTÔME CYLINDRIQUE

Cette expérience a été menée à l'INSERM U556 (Lyon) par R.Souchon. Il s'agit d'évaluer in vitro la faisabilité d'un élastogramme par une sonde endorectale. Le fantôme est un bloc de gélatine cylindrique creux dans lequel sont disposées 6 inclusions parallélépipédiques en mousse (figure 2, par commodité on n'a représenté que 2 des inclusions sur 6). Autour de la sonde, on dispose un ballon rempli de liquide et on réalise un élastogramme avant et après gonflage de ce ballon.

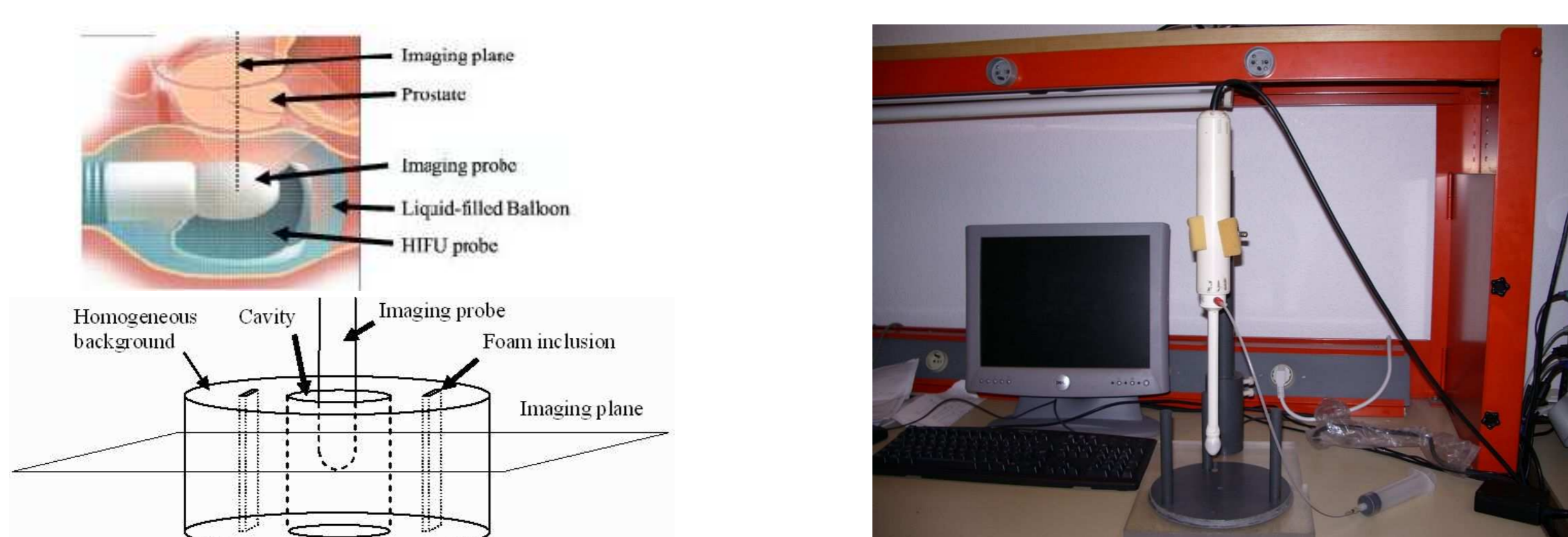


Figure 2. Utilisation clinique (en haut à gauche) ; schéma de l'expérience (en bas à gauche) ; la sonde et la seringue permettant de gonfler le ballon : lors des mesures le bloc de gélatine est disposé entre les plots (à droite)

## IDENTIFICATION (DONNÉES RÉELLES)

Nous avons implémenté le problème inverse par discrétisation sur un maillage triangulaire à l'aide d'une méthode d'éléments finis P1. La résolution comporte les étapes suivantes :

- Détermination des points où les mesures ne sont pas fiables. Cela se fait en utilisant une donnée supplémentaire : la corrélation entre les signaux ultrasonores avant et après compression (c'est une donnée naturelle en élastographie). Ces points sont "inactivés" pour la suite.
- Identification des conditions aux limites, en supposant l'inclusion "petite".
- Identification du contraste de module d'Young.

Remarque : comme on ne mesure que des déplacements, il est impossible de trouver des valeurs absolues des modules d'Young. On ne peut trouver que des valeurs relatives (contraste de module d'Young).

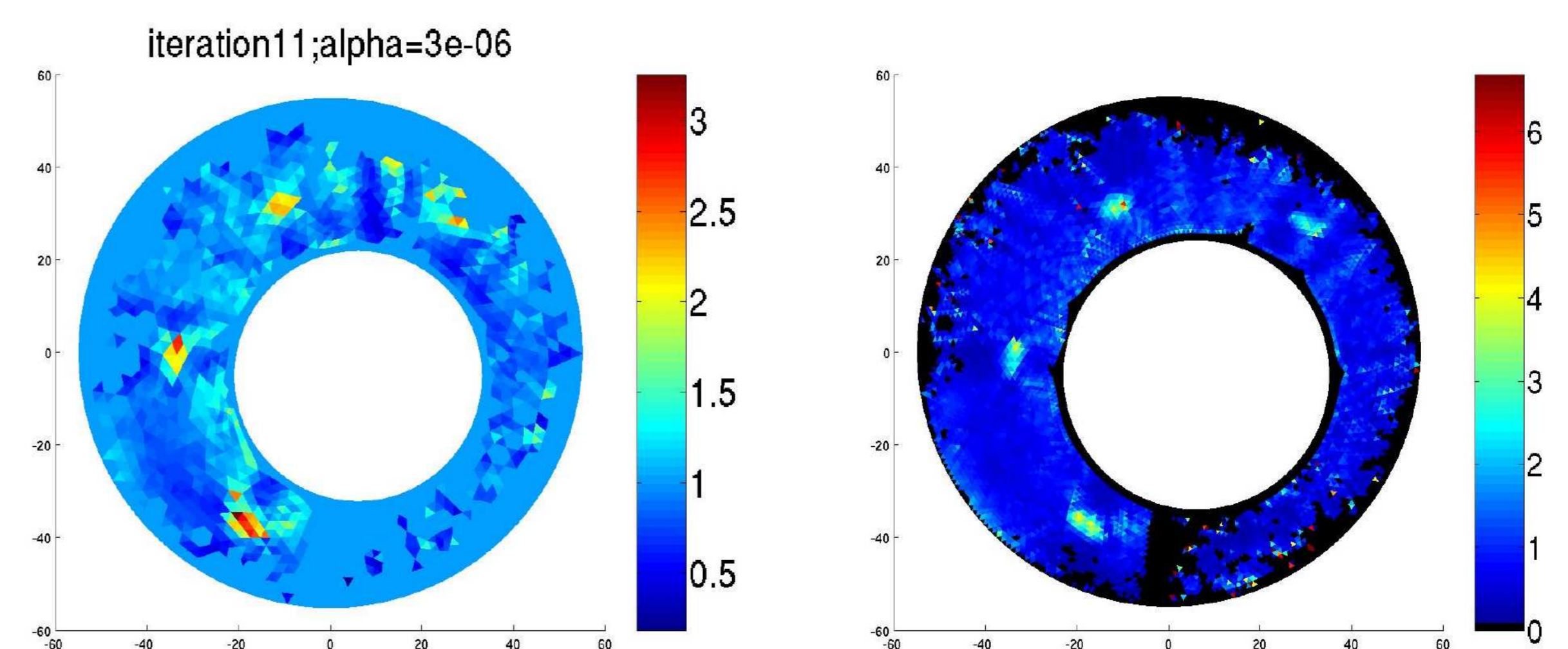


Figure 3. Résultats numériques pour le contraste de module d'Young : sur un maillage grossier (gauche) ; sur un maillage fin (droite)

Les plus grosses inclusions sont visibles, le contraste trouvé vaut approximativement 2,5 à 3. Par contre, nous ne disposons pas d'une mesure indépendante du contraste de module d'Young.

## FANTÔME PARALLÉLÉPIPÉDIQUE (DONNÉES RÉELLES)

Cette expérience a été réalisée par A.Kumar au laboratoire de J.Ophir (Houston). La géométrie est plus simple : il s'agit d'un bloc de gélatine parallélépipédique. Par contre, nous disposons d'une vérification indépendante des valeurs de module d'Young.

Sur la figure 4 nous indiquons le schéma de l'expérience ainsi que les déplacements (horizontaux) mesurés dans le plan d'imagerie.

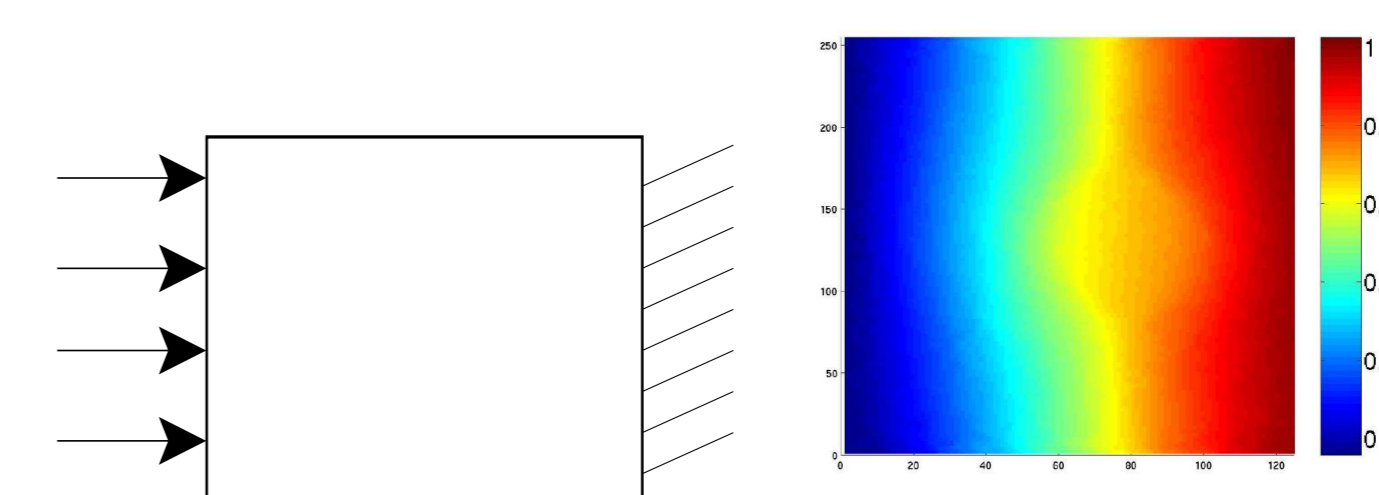


Figure 4. Schéma de la compression appliquée (gauche) ; élastogramme de déplacement (droite)

Sur la figure 5 nous donnons l'élastogramme de déformations obtenu, ainsi que la valeur du contraste de module d'Young obtenu à l'aide de notre méthode.

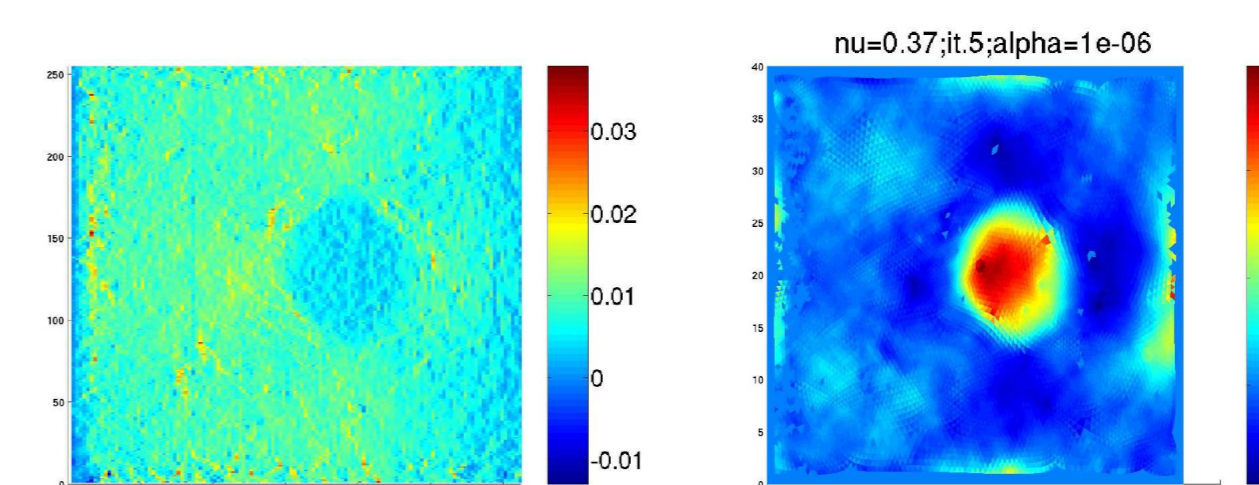


Figure 5. Élastogramme de déformations (gauche) ; estimation du contraste de module d'Young (droite)

Mesure indépendante à l'aide d'un dispositif mécanique : le module d'Young de la matrice vaut  $9.7 \pm 1.8$  kPa, et celui de l'inclusion est de  $20.5 \pm 5.9$  kPa, ce qui donne un contraste  $\approx 2.1$ . Cela est en accord avec les valeurs obtenues sur la figure 5 (droite).

## CONCLUSIONS & PERSPECTIVES

> Nous avons proposé une méthode de résolution du problème inverse en élastographie, avec une implémentation économe en mémoire et en temps de calcul, à l'aide de la différentiation en mode direct et en mode adjoint.

Nous avons appliqué cette méthode à des données réelles, et retrouvé la localisation des inclusions. Nous avons également retrouvé une valeur du contraste confirmée par des mesures indépendantes.

> Nous nous proposons de coupler le modèle et les données en amont, et de traiter directement les signaux échographiques, afin d'obtenir un élastogramme de bonne qualité. Nous souhaitons également coupler modèle et données dans le cadre de l'élastographie dynamique.

## REMERCIEMENTS

Ce travail a été financé par un postdoc CNRS et par l'ACINIM-IMEG coordonnée par le laboratoire MIP. Nous remercions également l'INSERM U556 et University of Texas Medical School at Houston.

