

# Analyse de sensibilité globale et propagation d'ondes en milieu poroélastique

A. Mesgouez<sup>a,b</sup>, S.Buis<sup>b,a</sup>, G. Lefeuvre-Mesgouez<sup>a,b</sup>, G. Micolau<sup>a,b</sup>

<sup>a</sup>UMR 1114 EMMAH, Université d'Avignon et des Pays de Vaucluse, Campus Jean-Henri Fabre, Agroparc, 201 rue Baruch de Spinoza, BP 21239, F-84916 Avignon Cedex 9, France

<sup>b</sup>UMR 1114 EMMAH, INRA, Domaine Saint Paul - Site Agroparc, F-84914 Avignon Cedex 9, France

---

*Keywords:* Analyse de sensibilité globale, Poroélasticité, Propagation d'ondes, Méthode Efast

---

## 1. Introduction

L'objectif de cette communication est de présenter les premiers résultats issus de l'application d'une analyse de sensibilité globale au domaine de la propagation d'ondes en poroélasticité. L'analyse de sensibilité globale permet de quantifier l'impact des incertitudes des paramètres d'entrée d'un modèle mathématiques sur les sorties simulées. Elle est ici conduite en utilisant la méthode Efast et permet de répondre à la question suivante: quels sont les paramètres d'entrée du modèle les plus influents sur les champs simulés en sortie de modèle? Nous déterminons les indices de Sobol propres et couplés des paramètres caractérisant un milieu poroélastique.

Le milieu bidimensionnel simulé a été choisi comme un espace infini séparé en deux demi-espaces: *i*) le milieu supérieur est un milieu purement acoustique, dans lequel se trouve une source transitoire (de type source ponctuelle en Ricker); *ii*) le milieu inférieur est un milieu poroélastique décrit par la théorie de Biot basse fréquence. L'interface entre les deux milieux plane présente des conditions de type "pores ouverts". Afin de tester uniquement la sensibilité des paramètres poroélastiques, nous supposons que le milieu supérieur, ainsi que l'interface, sont parfaitement connus. Une distribution uniforme à  $\pm 10\%$  des paramètres poroélastiques est considérée. Les applications possibles concernent la sismique marine ou le contrôle non destructif en laboratoire en fonction des fréquences liées impliquées. Plus largement, selon l'emplacement et le type de source, le même type d'étude pourrait être conduit dans le cadre de l'auscultation de chaussées en génie civil, l'auscultation d'aquifères à plus grande échelle, mais également la bioingénierie, [1] [2] [3] [4].

L'approche directe utilisée est une méthode semi-analytique à base de transformées intégrales, [5] [6]. Outre sa robustesse et sa capacité à modéliser le milieu, elle présente l'avantage de permettre des simulations rapides, et donc se révèle être un code direct très bien adapté à l'analyse de sensibilité.

## 2. Approche méthodologique

### 2.1. Analyse de sensibilité globale et méthode Efast

L'analyse de sensibilité globale est basée sur une décomposition en variance [7] [8] (ANOVA decomposition). L'objectif est de quantifier la variance d'une grandeur en sortie (du modèle) par une somme regroupant les contributions individuelles de chaque entrée du modèle sur cette variance, ainsi que leurs interactions. Les indices de Sobol principaux et du second ordre sont ainsi déterminés pour chaque paramètre physique du milieu poroélastique en fonction du champ mécanique simulé. La méthode utilisée est la méthode Extended Fast [9]. C'est une méthode robuste et efficace proposant un plan d'expérience optimisé permettant la détermination de ces indices de Sobol.

### 2.2. Paramètres d'entrée et de sortie de modèle

Les 10 paramètres d'entrée de la théorie de Biot basse fréquence, correspondant aux entrées de l'analyse de sensibilité globale, sont: *i*) la viscosité dynamique  $\eta$ , le module de compressibilité fluide  $K_F$  et la masse volumique  $\rho_F$  du fluide unique saturant le milieu; *ii*) la masse volumique  $\rho_S$ , le module de compressibilité  $K_S$  et le module de cisaillement  $\mu$  du squelette élastique du milieu poreux; *iii*) la

porosité connectée  $\phi$ , la tortuosité  $a_\infty$ , la perméabilité absolue  $\kappa$  et le module de compressibilité de la matrice drainée  $K_M$ .  $N$  répétitions du modèle direct sont simulées en choisissant les paramètres parmi une distribution uniforme (dans cette étude) à  $\pm 10$  %. Les sorties du modèle direct sont la pression dans le milieu acoustique, et la pression du pore ainsi que la vitesse verticale solide dans le poreux.

### 3. Un exemple de résultats

La figure 1 a) présente les indices de Sobol déterminés grâce à la réponse en pression fluide à une distance  $d = 30$  cm de la source (présentant une fréquence centrale  $f_c = 20$  kHz) en fonction du temps. Sur la même figure est également tracée la moyenne (parmi les  $N$  répétitions) de l'évolution temporelle de la pression. Cette figure met en évidence l'influence propre de chaque paramètre mécanique, mais aussi l'existence et l'importance des interactions (partie blanche capée à 1) entre les paramètres mécaniques. Il apparaît très clairement que la variance normalisée de la pression fluide est très majoritairement due à  $\rho_S$ . Les paramètres impactant la réponse (après  $\rho_S$ ) sont  $K_F, K_M$  et  $\mu$  et dans une moindre mesure encore  $\phi$  et  $K_S$ . Les autres paramètres ( $a_\infty, \kappa, \nu$  et  $\rho_F$ ) ont une influence négligeable. De plus, on constate qu'à certains temps, les paramètres seuls expliquent la majorité (voire la quasi-totalité) de la variance de la pression fluide, alors qu'à d'autres temps, une interaction entre ces paramètres est responsable de la variance. La figure 1 b) présente les indices de Sobol déterminés grâce à la réponse en vitesse verticale solide au même point en fonction du temps. Les conclusions sont similaires: la variable  $\rho_S$  influence de manière largement prépondérante la variance normalisée de la vitesse solide. On constate également que la sensibilité de la vitesse solide est plus importante vis-à-vis de  $\mu$ .

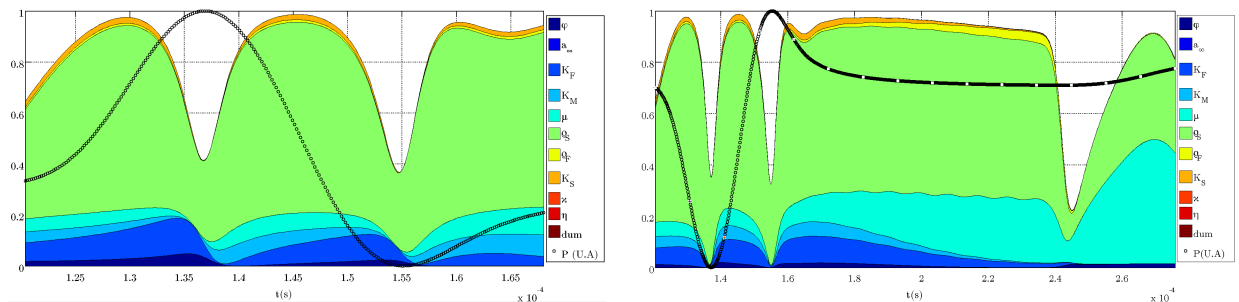


Figure 1: a) Indices de Sobol en pression fluide au point  $(x = 0, y = -0.3)$  m en fonction du temps. b) Indices de Sobol en vitesse verticale solide au point  $(x = 0, y = -0.3)$  m en fonction du temps. La partie blanche au-dessus des couleurs correspond à l'influence des interactions entre les paramètres sur la variance. La courbe verte est la moyenne parmi les  $N$  répétitions de l'évolution temporelle de la pression.

### References

- [1] N.P. Chotiros, An inversion for Biot parameters in water-saturated sand, *Journal of the Acoustical Society of America*, 112, 1853-1868, 2002.
- [2] De Barros L., Dietrich M. and Valette B., Full waveform inversion of seismic waves reflected in a stratified porous medium, *Geophysical Journal International*, 182-3, 1543-1556, 2010.
- [3] C. Morency, Y. Luo and J. Tromp, Acoustic, elastic and poroelastic simulations of CO<sub>2</sub> sequestration crosswell monitoring based on spectral-element and adjoint methods, *Geophysical Journal International*, 185-2, 955-966, 2011.
- [4] G. Lefeuvre-Mesgouez, A. Mesgouez, E. Ogam, T. Scotti, A. Wirgin, Retrieval of the physical properties of an anelastic solid half space from seismic data, *Journal of Applied Geophysics*, 88, 70-82, 2013.
- [5] A. Mesgouez, G. Lefeuvre-Mesgouez, Transient solution for multilayered poroviscoelastic media obtained by an exact stiffness matrix formulation, *International Journal for Numerical and Analytical Methods in Geomechanics*, 33, 1911-1931, 2009.
- [6] G. Lefeuvre-Mesgouez, A. Mesgouez, G. Chiavassa, B. Lombard, Semi-analytical and numerical methods for computing transient waves in 2D acoustic/poroelastic stratified media, *Wave Motion*, 49-7, 667-680, 2012.
- [7] I. M. Sobol, Sensitivity analysis for nonlinear mathematical models, *Mathematical Modeling and Computational Experiment*, 1, 407-414, 1993.
- [8] A. Saltelli, M. Ratto, T. Andres, F. Campolongo, J. Cariboni, D. Gatelli, M. Saisana, S. Tarantola, *Global Sensitivity Analysis: The Primer*, John Wiley & Sons, Chichester, UK, 2008.
- [9] A. Saltelli, S. Tarantola, K. P. S Chan, A quantitative model-independent method for global sensitivity analysis of model output, *Technometrics*, 1, 39-56, 1999.