

# Modélisation bayésienne sous contraintes d'ordre partiel pour la géochronologie

Imène Bouafia<sup>1</sup>

Anne Philippe<sup>2</sup>

Guillaume Guérin<sup>3</sup>

## Résumé

En archéologie et en sédimentologie, l'estimation des âges repose sur des mesures produites par des laboratoires de datation et la connaissance de la stratigraphie c'est-à-dire des contraintes d'ordre partiel sur les âges. Les modèles bayésiens actuellement utilisés intègrent les contraintes grâce à la loi a priori ; ils sont basés sur les statistiques d'ordre uniforme.

Cependant, ces modèles chronologiques souffrent d'artefacts systématiques : ils ont tendance à sous-estimer les âges les plus jeunes et à surestimer les plus anciens à mesure que la taille de l'échantillon augmente.

Pour pallier ces biais, nous présentons une nouvelle approche en deux étapes :

- Le calcul d'une loi a posteriori non contrainte, permettant une exploration libre des paramètres.
- La projection de cette loi sur l'espace des contraintes par minimisation de la distance de Wasserstein.

En minimisant la distance de Wasserstein, la loi obtenue définit la loi contrainte la moins informative, garantissant une fidélité maximale à la loi non contrainte initiale (voir [1] pour plus de détails).

Cette approche est implémentée dans le package BayLumPlus [2], un « spin-off » de BayLum dédié à l'estimation d'âges à partir de données de luminescence (OSL) et/ou de radiocarbone. L'architecture en spin-off est intentionnelle pour ne pas déstabiliser la base d'utilisateurs de BayLum pendant la phase expérimentale. De plus, il s'agit d'une nouvelle approche dont le périmètre dépasse le seul cadre de la datation.

BayLumPlus facilite également la mise en œuvre pratique en permettant de :

- Modéliser et visualiser les contraintes de stratigraphie sous forme de graphes orientés acycliques (DAG).
- Réduire drastiquement le coût computationnel en évitant les échantillonneurs MCMC complexes en espace contraint.

---

<sup>1</sup>LMJL - NU - CNRS, imene.bouafia@univ-nantes.fr

<sup>2</sup>LMJL - NU - CNRS, anne.philippe@univ-nantes.com

<sup>3</sup>Géosciences - Univ Rennes - CNRS, guillaume.guerin@univ-rennes1.fr

- Optimiser l'exploration des modèles : en se focalisant uniquement sur la composante « Âge » du modèle hiérarchique de [3], le package s'affranchit de la lourdeur numérique du modèle physique lié à l'OSL. Cette approche a été expérimentée avec succès par des archéologues sur divers sites (Jonzac, Grotte Gatzarria...).

**Mots-clefs** : Optimisation Isotonique - Inférence Bayésienne - Archéologie - DAG

## Développement

Déroulement de la présentation :

1. Brève introduction au modèle de B. Combès et A. Philippe [3] et démonstration de la rupture computationnelle offerte par les fonctions `Compute_AgeS_D()` et `Compute_AgeS_DC14()`,
2. Présentation de l'encodage des stratigraphies et de leur visualisation à l'aide des fonctionnalités `remove_transitive_edge()` (pruning) et `network_visualization()`,
3. Introduction au cadre bayésien par projection isotone avec les fonctions `IsotonicCurve()` et `PlotIsotonicCurve()`.

## Bibliographie

- [1] I. Bouafia, A. Philippe, et G. Guérin, « A Bayesian Framework for Parameter Estimation under Partial Order Constraints using Isotonic Regression », 2025. [En ligne]. Disponible sur: <https://hal.science/hal-05384012v1>
- [2] I. Bouafia, A. Philippe, G. Guerin, S. Christophe Clair Kreuzter, F. Baumgarten, et N. Frerebeau, « BayLumPlus: Chronological Bayesian Models Integrating Optically Stimulated Luminescence and Radiocarbon Age Dating », 2025, [En ligne]. Disponible sur: <https://imn167.github.io/BayLumPlus/>
- [3] B. Combès et A. Philippe, « Bayesian analysis of individual and systematic multiplicative errors for estimating ages with stratigraphic constraints in optically stimulated luminescence dating », *Quaternary Geochronology*, vol. 39, p. 24-34, 2017.